



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**PROYECTO TÉCNICO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

TEMA:

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL UTILLAJE PARA EL MÉTODO ESTÁNDAR DE PRUEBA PARA PROPIEDADES DE COMPRESIÓN DE POLÍMEROS (ASTM D695:2015) EN EL CENTRO DE FOMENTO PRODUCTIVO METALMECÁNICO CARROCERO”

AUTOR: Miguel Sebastian Valle Yépez

TUTOR: Ing. Mg. Espín Lagos Segundo Manuel

AMBATO – ECUADOR

Septiembre - 2020

CERTIFICACIÓN

En calidad de tutor del proyecto técnico, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, con el tema: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL UTILLAJE PARA EL MÉTODO ESTÁNDAR DE PRUEBA PARA PROPIEDADES DE COMPRESIÓN DE POLÍMEROS (ASTM D695:2015) EN EL CENTRO DE FOMENTO PRODUCTIVO METALMECÁNICO CARROCERO”** elaborado por el Sr. Miguel Sebastian Valle Yépez, portador de la cedula de ciudadanía: 1803857877, egresado de la Carrera de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente proyecto técnico es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Esta concluido en su totalidad.

Ambato, Septiembre 2020



.....
Ing. Mg. Espín Lagos Segundo Manuel

TUTOR

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, Miguel Sebastian Valle Yépez, con C.I. 1903857877 declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente proyecto técnico con el tema: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL UTILLAJE PARA EL MÉTODO ESTÁNDAR DE PRUEBA PARA PROPIEDADES DE COMPRESIÓN DE POLÍMEROS (ASTM D695:2015) EN EL CENTRO DE FOMENTO PRODUCTIVO METALMECÁNICO CARROCERO”**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor de la investigación, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Septiembre 2020



Miguel Sebastian Valle Yépez

C.I. 1803857877

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato para que haga de este Proyecto Técnico o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y proceso de investigación, según las normas de la institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Proyecto Técnico con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, Septiembre 2020



.....
Miguel Sebastian Valle Yépez

C.I. 1803857877

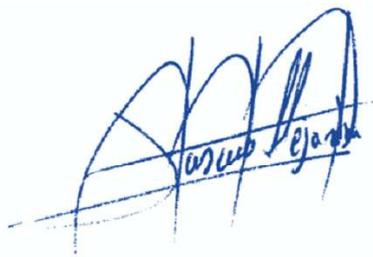
AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Proyecto Técnico, realizado por el estudiante Miguel Sebastian Valle Yépez de la Carrera de Ingeniería Mecánica bajo el tema: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL UTILLAJE PARA EL MÉTODO ESTÁNDAR DE PRUEBA PARA PROPIEDADES DE COMPRESIÓN DE POLÍMEROS (ASTM D695:2015) EN EL CENTRO DE FOMENTO PRODUCTIVO METALMECÁNICO CARROCERO”**.

Ambato, Septiembre 2020

Para constancia firman:



.....

Ing. Mg. Lascano Moreta Alejandra Marlene

Miembro del Tribunal



.....

Ing. Mg. López Villacis Gonzalo Eduardo

Miembro del Tribunal

DEDICATORIA

*“Sí he logrado ver más lejos,
ha sido porque he subido a
hombros de gigantes”.*

ISAAC NEWTON

A Dios y al Arcángel Miguel por guiarme en las decisiones tomadas durante este escalón de mi vida, con el apoyo de mis padres, abuelitos, hermanos, familia y amigos. Los cuales fueron muy importantes durante todo este tiempo para no decaer.

En especial a mis padres Anita y Wilson que siempre me ayudan, insisten y me acompañan para que siga adelante y me supere obteniendo logros en mi vida académica.

AGRADECIMIENTO

A todos los ingenieros y personas que de alguna forma siempre compartieron sus conocimientos, enseñando y guiando para saber obtener soluciones a cualquier problema que se pueda presentar en la vida práctica.

A mi tutor Segundo Espín que me guió con su conocimiento para que realice de la mejor forma este proyecto técnico.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA.....	i
CERTIFICACIÓN.....	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DE TRIBUNAL DE GRADO.....	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICES DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN EJECUTIVO.....	xii
SUMMARY.....	xiii
1. CAPÍTULO I: ANTECEDENTES.....	1
1.1 Tema.....	1
1.2 Justificación.....	1
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 Objetivo General.....	4
1.3.2 Objetivos Específicos.....	4
2. CAPÍTULO II: FUNDAMENTACIÓN.....	5
2.1 Investigación teórica.....	5

2.1.1 Polímeros.....	5
2.1.2 Clasificación de los Polímeros.....	5
2.1.3 Pla.....	8
2.1.4 Asa.....	9
2.1.5 Aleaciones Férrreas.....	11
2.1.6 Aceros.....	11
2.1.7 Aceros Altos en Carbono.....	12
2.1.8 Acero AISI D2.....	13
2.1.9 Compresión.....	15
2.1.10 Ensayos de Compresión.....	20
2.1.11 Máquina para Ensayos de Compresión.....	20
2.1.12 Norma ASTM D695:2015.....	21
2.1.13 Norma NTE INEN ISO 17025:2018.....	26
2.1.14 Accesorios.....	26
3. CAPITULO III: DISEÑO DEL PROYECTO.....	28
3.1 Selección de Alternativas.....	28
3.2 Cálculos.....	29
3.3 Presupuesto.....	49
3.4 Especificaciones Técnicas.....	49
4. CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	53
4.1 Conclusiones.....	53
4.2 Recomendaciones.....	54

5. BIBLIOGRAFÍA.....	55
6. ANEXOS.....	60
7. PLANOS.....	115

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Comparación de las clases de polímeros.....	6
Tabla 2-2: Abreviaturas de polímeros.....	7
Tabla 2-3: Propiedades polímero PLA.....	9
Tabla 2-4: Propiedades polímero ASA.....	10
Tabla 2-5: Designaciones acero AISI D2.....	13
Tabla 2-6: Espesor y dureza del material.....	14
Tabla 2-7: Dureza según la aplicación.....	14
Tabla 2-8: Propiedades según la temperatura.....	15
Tabla 2-9: Resistencia a la compresión según su dureza.....	15
Tabla 2-10: Medidas pernos Allen.....	27
Tabla 2-11: Medidas pernos Allen.....	27
Tabla 3-1: Alternativas de utillaje para máquina de ensayos Metrotec MTE-50 kN.....	28
Tabla 3-2: Áreas calculadas.....	32
Tabla 3-3: Coeficientes n_x	36
Tabla 3-4: Coeficientes n_y	37
Tabla 3-5: Datos de torsión.....	39
Tabla 3-6: Velocidades recomendadas de corte para diferentes materiales.....	41
Tabla 3-7: Velocidades de corte calculadas.....	44

Tabla 3-8: Velocidades de corte calculadas.....	45
Tabla 3-9: Calidad tolerancia.....	45
Tabla 3-10: Presupuesto del proyecto.....	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1: Estructura química PLA.....	8
Figura 2-2: Estructura química ASA.....	9
Figura 2-3: Clasificación de aleaciones.....	12
Figura 2-4: Diagrama esfuerzo – deformación.....	16
Figura 2-5: Muestra de prueba de compresión para materiales de menos de 3,2 mm de espesor.....	22
Figura 2-6: Especificaciones de la plantilla del soporte.....	23
Figura 2-7: Especificaciones de la base del soporte.....	24
Figura 3-1: Elemento 1 en mm, área de la base del utillaje.....	31
Figura 3-2: Elemento 2 en mm, área de una parte de la prensa que ayuda en la sujeción de las probetas.....	31
Figura 3-3: Asignación del material programa CAD.....	46
Figura 3-4: Sujeción y carga aplicada.....	46
Figura 3-5: Tensión máxima.....	47
Figura 3-6: Factor de seguridad.....	47
Figura 3-7: Deformación máxima.....	48

RESUMEN EJECUTIVO

Mediante el siguiente proyecto técnico se incrementó las pruebas de polímeros a realizar en el CFPMC. Con la investigación necesaria y siguiendo las especificaciones de la norma ASTM D695:2015.

El objetivo que se cumplió en este proyecto técnico fue el diseño y construcción del utillaje para el método estándar de pruebas de compresión de polímeros (ASTM D695:2015).

Con la información obtenida se determinó el material, el diseño con dimensionamientos adecuados, la relación dimensional en función de los accesorios, las piezas principales y las características constructivas para la fabricación. Encontrando los márgenes de separación entre piezas, tolerancias y acabados superficiales para un óptimo ensamblaje.

Se creó la documentación bajo norma NTE INEN ISO 17025:2018. Realizando las pruebas de validación del utillaje con polímeros ASA y PLA con probetas en impresión 3D.

Se concluyó que con la selección del material AISI D2 se garantiza que el utillaje soportará la máxima carga que es de 50 kN, produciendo una deformación máxima de 0,0039 mm. También se comprobó que el utillaje cumple con lo establecido en la sección 5.3 de la norma ASTM D695 la cual expresa que la construcción de la herramienta debe estar de tal manera que la carga axial se aplica a través de superficies que son planas y paralelas entre sí, en un plano normal al eje de carga vertical. Se obtuvo buenos resultados en la resistencia a la compresión de los polímeros utilizados, obteniendo para el polímero PLA un valor de 67,236 MPa y para el polímero ASA un valor de 37,666 MPa.

SUMMARY

Through the following technical project, polymer tests to be carried out at the CFPMC were increased. With the necessary research and following the specifications of the ASTM D695: 2015 standard.

The objective that was fulfilled in this technical project was the design and construction of the tools for the standard method of polymer compression tests (ASTM D695: 2015).

With the information obtained, the material, the design with adequate sizing, the dimensional relationship according to the accessories, the main parts and the construction characteristics for the manufacturing were determined. Finding the separation margins between parts, tolerances and surface finishes for optimal assembly.

The documentation was created under NTE INEN ISO 17025: 2018. Performing tool validation tests with ASA and PLA polymers with 3D printing specimens.

It was concluded that with the selection of AISI D2 material it is guaranteed that the tooling will support the maximum load that is 50 kN, producing a maximum deformation of 0.0039 mm. It was also found that the tooling complies with the provisions of section 5.3 of ASTM D695 which states that the construction of the tool must be such that the axial load is applied across surfaces that are flat and parallel to each other, in a plane normal to the vertical load axis. Good results were obtained in the compressive strength of the polymers used, obtaining a value of 67,236 MPa for the PLA polymer and a value of 37,666 MPa for the ASA polymer.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

3.1. Tema

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL UTILLAJE PARA EL MÉTODO ESTÁNDAR DE PRUEBA PARA PROPIEDADES DE COMPRESIÓN DE POLÍMEROS (ASTM D695:2015) EN EL CENTRO DE FOMENTO PRODUCTIVO METALMECÁNICO CARROCERO”

3.2. Justificación

En el Art. 350 de la Constitución de la República del Ecuador señala que el Sistema de Educación Superior tiene como finalidad la formación académica y profesional con visión científica y humanista: la investigación científica y tecnológica; la innovación, promoción, desarrollo y difusión de los saberes y las culturas: la construcción de soluciones para los problemas del país, en relación con los objetivos del régimen de desarrollo [1].

En la Ley Orgánica de Educación Superior establece:

Art. 138.- Fomento de las relaciones interinstitucionales entre las instituciones de educación superior.- Las instituciones del Sistema de Educación Superior fomentarán las relaciones interinstitucionales entre universidades, escuelas politécnicas e institutos superiores técnicos, tecnológicos, pedagógicos, de artes y conservatorios superiores tanto nacionales como internacionales, a fin de facilitar la movilidad docente, estudiantil y de investigadores, y la relación en el desarrollo de sus actividades académicas, culturales, de investigación y de vinculación con la sociedad.

Art. 140. - Articulación de los programas y actividades de investigación del sector público con el Sistema de Educación Superior. - Los centros e instituciones del Sector Público que realicen investigaciones en cualquier área, articularán sus actividades de investigación con una universidad o escuela politécnica pública [2]. El gobierno mediante las leyes y artículos ya descritos anteriormente, ayuda e incentiva a las universidades, profesores, estudiantes a realizar investigaciones en todo ámbito para mejorar o crear nuevos procesos, análisis y métodos utilizados en la optimización de los productos en las industrias, promoviendo el cumplimiento de normas nacionales e internacionales para producir productos de calidad.

En el Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero (CFPMC), en materia de calidad de los servicios, declara el compromiso con el Sistema de Gestión de sus actividades Técnicas, Administrativas y de Calidad, como modelo de trabajo, según los criterios de establecidos para Organismos de Evaluación de la conformidad y tomando como punto de partida las Normas: INEN ISO/IEC 17025: 2018 en sus versiones vigentes. Se ha planteado, ir alcanzando el reconocimiento de sus ensayos y/o calibraciones y/o inspecciones en función de su recurso humano y tecnológico presente y futuro [3]. Con la construcción de este utillaje, el CFPMC ayudará a los investigadores de las diferentes universidades, entidades públicas y privadas que realicen análisis sobre polímeros y así poder mejorar las características y calidad de los productos en las industrias del país. También fortalecerá el convenio existente entre la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica y el CFPMC, mediante las nuevas investigaciones en polímeros que podrá realizar los profesores y estudiantes de la facultad.

Para incrementar los ensayos que se pueden realizar en el CFPMC se integrará el utillaje para el método estándar de pruebas de compresión de polímeros mediante el que se puede determinar varias propiedades de los polímeros, ampliando la información de las características de cada tipo de polímero que se realice el análisis; siendo un complemento a los análisis de tracción y flexión de polímeros.

La máquina de ensayos Metrotec Serie MTE-50 kN del CFPMC tienen las más avanzadas y fiables estructuras en marco de ensayos electromecánicos. El sistema de control computarizado permite realizar el control en lazo cerrado de parámetros tales como fuerza de ensayo, deformación de la probeta y recorrido del travesaño, etc. El sistema realiza en tiempo real sobre la pantalla del PC diagramas de ensayo, curvas de ensayo y creación de informes de ensayo de diversos materiales y componentes para ajustarse a sus necesidades en control de calidad e investigación [4].

La norma NTE INEN ISO 17025:2018 - Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración: Contiene todos los requisitos que tienen que cumplir los laboratorios de ensayo y de calibración si desean demostrar que poseen un sistema de gestión, son técnicamente competentes y son capaces de generar resultados técnicamente válidos [5]. Esta normativa establece las características de los formatos para registros, instructivos, procedimientos y manuales de mantenimiento para las máquinas y equipos de los laboratorios.

El utillaje interviene en las aplicaciones de varias normas [6] :

- ASTM D695:2015 – Método de prueba estándar para propiedades de compresión de polímeros [7]: La norma especifica la terminología a utilizar en la norma, el dimensionamiento del utillaje, características de los especímenes de prueba, detalles del utillaje, número de muestras de prueba, velocidad de la prueba, procedimiento, cálculos y el informe de resultados.
- ASTM D3846:2015 - Método de prueba estándar para la resistencia al corte en el plano de polímeros reforzados.
- ASTM C365:2016 - Método de prueba estándar para las propiedades compresivas en polímeros planas de los núcleos de sándwich.

- ASTM C1358:2013 - Método de prueba estándar para la prueba de resistencia a la compresión monotónica de cerámica avanzada reforzada con fibra continua con muestras de ensayo de sección transversal rectangular sólida a temperatura ambiente.
- ASTM D1621:2016 - Método de prueba estándar para propiedades compresivas de polímeros celulares rígidos.
- ASTM D3410:2016 - Método de prueba estándar para propiedades de compresión de materiales compuestos de matriz de polímero con sección de calibre no soportado por carga de corte.
- ISO 604:2002 - Propiedades de compresión de polímeros.
- ISO 844:2014 - Determinación de las propiedades de compresión de polímeros celulares rígidos.

3.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Diseño y construcción del utillaje para el método estándar de pruebas de compresión de polímeros (ASTM D695:2015).

1.3.2. Objetivos específicos

- Levantar las especificaciones de ingeniería para la fabricación del utillaje bajo el método de la norma ASTM D695:2015.
- Diseñar el utillaje utilizando un software CAD.
- Construir el utillaje para el método estándar de pruebas de compresión de polímeros (ASTM D695:2015).
- Realizar la documentación del método ASTM D695:2015 bajo la norma NTE INEN ISO 17025:2018.
- Validar el método de ensayo ASTM D695:2015 mediante pruebas de laboratorio.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN

3.1. Investigación teórica

2.1.1. Polímeros

La palabra polímero proviene del griego poli = mucho y meros = partes, las moléculas son grandes, con un alto peso molecular, creados uniendo moléculas más pequeñas, conocidos como monómeros. Comparados con la mayoría de los metales y de los cerámicos, los polímeros tienen baja resistencia, rigidez y temperatura de fusión; sin embargo, poseen baja densidad y buena resistencia química.

2.1.2. Clasificación de los polímeros

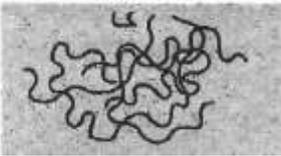
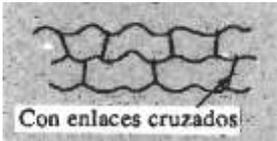
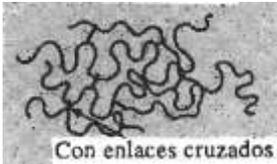
Termoplásticos: Se componen de largas cadenas producidas al unir moléculas pequeñas o monómeros y típicamente se comportan de una manera plástica y dúctil. Al ser calentados a temperaturas elevadas, estos polímeros se ablandan y se conforman por flujo viscoso. Pueden ser reciclados con facilidad. En la tablas 2-1 podemos ver si diagram y estructura general.

Termoestables: Están compuestos por largas cadenas de moléculas con fuertes enlaces cruzados entre las cadenas para formar estructuras de redes tridimensionales. Estos polímeros generalmente son más resistentes, aunque más frágiles que los termoplásticos.

No tienen una temperatura de fusión fija y es difícil reprocesarlos una vez ocurrido la deformación de enlaces cruzados, como se muestra en tabla 2-1.

Elastómeros: Incluyendo el caucho tienen una estructura intermedia, en la cual se permite que ocurra una ligera formación de enlaces cruzados entre las cadenas (tabla 2-1). Tienen la capacidad de deformarse elásticamente en grandes cantidades sin cambiar de forma permanentemente [8].

Tabla 2-1: Comparación de las clases de polímeros [9].

COMPORTAMIENTO	ESTRUCUTRA GENERAL	DIAGRAMA
Termoplástico	Cadenas lineales flexibles	
Termoestable	Red rígida tridimensional	 <p>Con enlaces cruzados</p>
Elastómero	Cadenas lineales con enlaces cruzados	 <p>Con enlaces cruzados</p>

A continuación, en la tabla 2-2, se presenta las abreviaturas más comunes de varios polímeros.

Tabla 2-2: Abreviaturas de polímeros [10].

ABREVIATURA	NOMBRES COMPLETOS
ABS	Polimerizados acrilnitrilo-butadieno-estireno
CA	Acetato de celulosa
CAB	Acetobutirato de celulosa
CP	Propionato de celulosa
EPS	Poliestireno expandido
E-PVC	Polimerizado de PVC en emulsión
EVA	Copolímeros etileno- acetato de vinilo
HD – PE	Polietileno de alta densidad = polietileno de baja presión
LD – PE	Polietileno de baja densidad = polietileno de alta presión
MD – PE	Polietileno densidad media
MF	Resinas o masas de colada melanina – formaldehido
M – PVC	PVC polimerizado en masa
PA	Poliamida
PB	Polibuteno
PC	Policarbonato
PE	Polietileno
PETP	Tereftalato de polietilenglicol
PF	Resinas o masas de colada melanina – formaldehido
PMMA	Polimetil – metacrilato
PMP	Polimetil – penteno
POM	Poliacetal
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno
PSAN	Copolímeros estireno – acrilnitrilo (=SAN)
ASA	Acrilnitrilo estireno acrilato
PTFE	Polietrafluoretileno
PVAC	Acetato de polivinilo
PVCAC	Copolímeros cloruro – acetato de vinilo
PVDC	Cloruro de polivinilideno
PUR	Poliuretanos
SAN	Copolímeros estireno acrilnitrilo
SB	Copolímeros estireno – butadieno – poliestireno antichoque
S-PVC	PVC polimerizado en suspensión
UF	Resinas o masas de moldeo de urea – formaldehido
PET	Polietileno tereftalato

2.1.3. Pla

Forma parte de la familia de los termoplásticos. Es un polímero biodegradable producido a partir del ácido láctico, se lo encuentra en productos con almidón tales como el maíz, remolacha, yuca, caña de azúcar, etc. Cuya estructura química se muestra en la figura 2-1.

Unidades químicas estructurales:

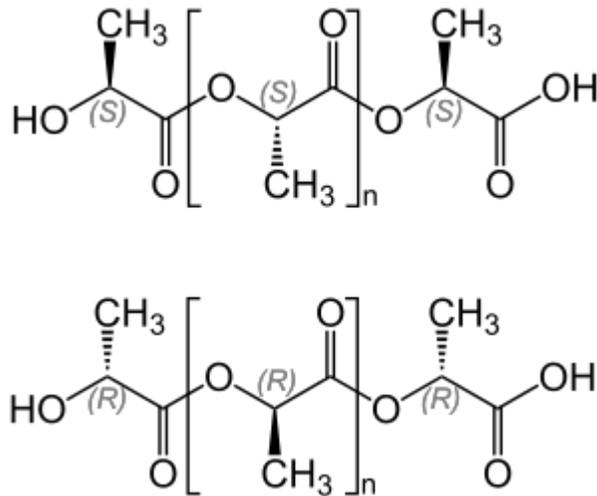


Figura 2-1: Estructura química PLA [11].

Estructura y propiedades: El PLA tiene propiedades semejantes al PET (Tereftalato de polietileno) pero su ventaja es que es biodegradable, si es sometido a ciertas condiciones de temperatura de 60 – 80°C. Se produce una degradación en óxido de carbono y agua. Se constituyen por polimerización por apertura de lactidas.

Aplicaciones: Este polímero es muy versátil ya que puede ser aplicado en la industria textil, médica, empaquetado, juguetería, hogar, etc. [12].

En la tabla 2-3 se muestra las propiedades del polímero PLA que se utilizó para las probetas de prueba del utillaje.

Tabla 2-3: Propiedades polímero PLA [13].

PROPIEDAD	VALOR
Densidad (gr/cm ³)	1,15
Resistencia a la tracción (MPa)	88
Módulo de elasticidad (GPa)	3,28
Resistencia a la Compresión (MPa)	34 - 93
Resistencia al impacto Izod (J/cm ²)	0,300
Dureza Rockwell (HR)	88
Resistencia al calor (°C) aire	90
Resistencia dieléctrica (kV/mm)	25
Constante dieléctrica (10 ⁶ Hz)	3,6
Factor de disipación, tan δ (10 ⁶ Hz) 10 ⁻⁴	0,012
Absorción de agua (24h, %)	6,5

2.1.4. Asa

Forma parte de a la familia de los termoplásticos. El acrónimo se deriva de los 3 monómeros utilizados para conformarlo: acrilonitrilo, estireno y acrilato. Cuya estructura química se muestra en la figura 2-2.

Unidades químicas estructurales:

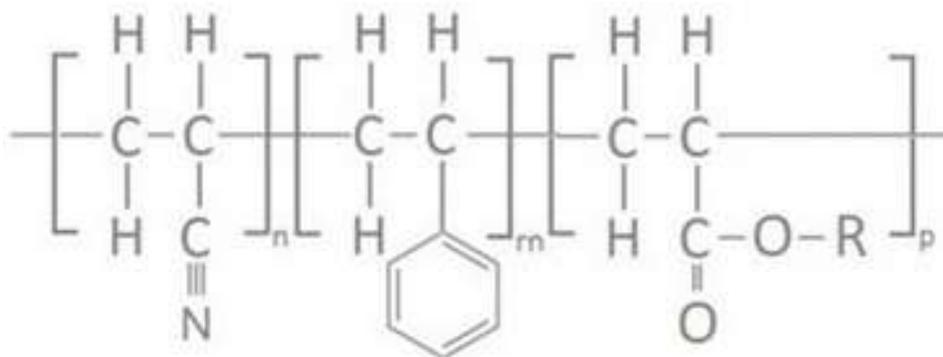


Figura 2-2: Estructura química ASA [14].

Los polímeros ASA son similares a la estructura de los polímeros ABS, lo que los diferencia es en el componente insaturado del caucho butadiénico formado por elastómeros acrilato (caucho acrílico) saturado (sin dobles enlaces), mezclados dentro de la matriz de estireno-acrilonitrilo. Los polímeros ASA no contienen dobles enlaces C = C, lo que los hace con una alta resistencia a la intemperie y la luz. La polaridad de los polímeros ASA es mayor que la de los polímeros ABS. La fabricación de los polímeros ASA es por copolimerización de injerto en emulsión de estireno y acrilonitrilo sobre elastómeros acrilato. Como resultado en la copolimerización se forma una matriz de estireno-acrilonitrilo y a la par se obtiene el caucho acrílico injertado con estireno y acrilonitrilo. Los polímeros ASA tienen diez veces mayor que los polímeros ABS la resistencia a la intemperie. El intervalo de temperatura está entre -30 y + 85 °C de uso continuo. El polímero ASA es de características translúcido y en ocasiones opaco. Tiene una tendencia baja a las cargas electrostáticas.

La composición de los polímeros ASA es similar a la del PS o SAN, las aplicaciones son en planchas, perfiles, tubos, láminas, para fabricar expendedoras automáticas, accesorios de tuberías, carcasas de retrovisores y cortacéspedes, muebles, cascos. El polímero ASA se mezcla con PC y se utiliza en el revestimiento de interiores, rejillas para difusores de aire, rejillas de vehículos, carcasas de aspiradora [15].

En la tabla 2-4 se muestra las propiedades del polímero ASA que se utilizó para las probetas de prueba del utillaje.

Tabla 2-4: Propiedades polímero ASA [16].

PROPIEDAD	VALOR
Densidad (gr/cm ³)	1,07
Resistencia a la tracción (MPa)	35
Módulo de elasticidad (GPa)	2,5
Resistencia al impacto Izod (kJ/m)	0,1
Dureza Rockwell (HR)	R105
Resistencia al calor (°C)	60
Resistencia dieléctrica (MV/m)	22
Constante dieléctrica (1kHz)	3,2
Factor de disipación, (1kHz)	0,025
Absorción de agua (24h, %)	0,5

2.1.5. Aleaciones férreas

Las aleaciones férreas, cuyo principal componente es el hierro, son las que más se producen y las que tienen mayor interés como material para la construcción de aparatos. Este uso generalizado se debe a tres factores:

- En la corteza de la tierra abundan los compuestos de hierro.
- Los aceros se fabrican mediante técnicas de extracción, afino, aleación y conformación relativamente económicas.
- Las aleaciones férreas son extremadamente versátiles, ya que se pueden adaptar para que tengan una gran variedad de propiedades físicas y mecánicas.

2.1.6. Aceros

Los aceros son aleaciones hierro-carbono con concentraciones apreciables de otros elementos aleantes. Existen miles de aceros que tienen distintas composiciones y/o tratamientos térmicos. Las propiedades mecánicas dependen del contenido en carbono, que suele ser inferior al 1%. Los aceros más comunes se clasifican según el contenido en carbono: bajo, medio y alto en carbono. Además, en cada grupo existen subclases de acuerdo con la concentración de otros elementos de aleación.

Los aceros al carbono sólo contienen concentraciones residuales de impurezas distintas al carbono. En los aceros aleados, los elementos de aleación se añaden intencionadamente en concentraciones específicas.

A continuación, en la figura 2-3 se muestra la clasificación de aleaciones.

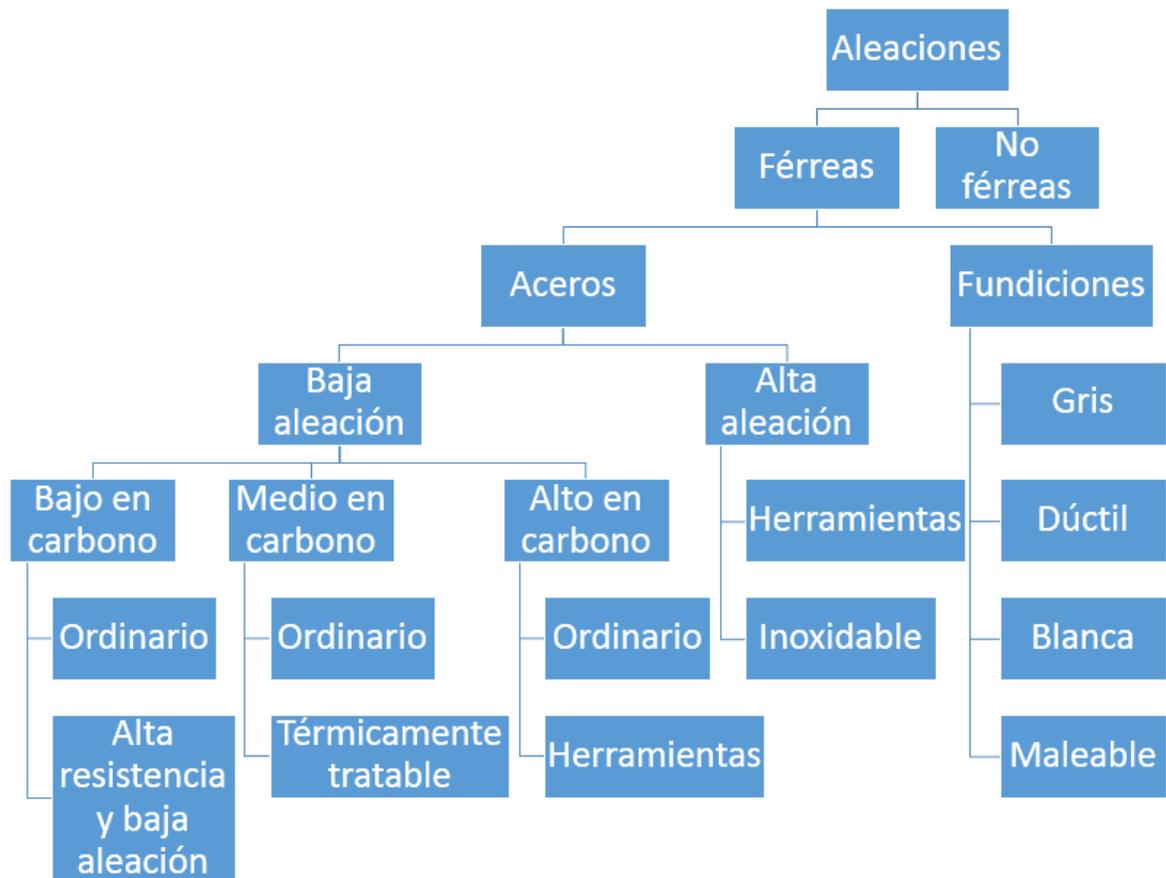


Figura 2-3: Clasificación de aleaciones [17].

2.1.7. Aceros altos en carbono

Los aceros con alto porcentaje de carbono contienen normalmente entre 0,60 - 1,4 % C. Siendo los más resistentes y duros pero los menos dúctiles que otros aceros al carbono. Normalmente son utilizados en condiciones de templado y revenido, por lo cual son altamente resistentes al desgaste y en su mayoría utilizados para formar herramienta de corte. Varias herramientas y matrices son creados con aceros aleados con alto porcentaje de carbono que contienen generalmente: tungsteno, vanadio, cromo y molibdeno. Estas aleaciones al combinarse con el carbono crean carburos con alta dureza y resistencia al desgaste. Estos aceros se utilizan como herramientas de corte y matrices para hechar materiales, así como cuchillos, navajas, hojas de sierra, muelles e hilos de alta resistencia [18].

2.1.8. Acero AISI D2

En la tabla 2-5 se muestra las diferentes designaciones que toma el acero AISI D2.

Tabla 2-5: Designaciones acero AISI D2 [19].

DESIGNACIONES
XW41
AISI D2
W. Nr. 1.2379
UDDEHOLM SVERKER 21
BOHLER K110
DIN X153MO121
UNE F5212

Es un acero para utillajes con alto contenido de carbono y cromo, aleado con molibdeno y vanadio, caracterizado por:

- Alta resistencia al desgaste
- Alta resistencia a la compresión
- Buenas propiedades de temple tanto en núcleo como en superficies
- Excelente estabilidad en el temple
- Buena resistencia al revenido

Aplicaciones:

Una de las principales aplicaciones es en la fabricación de utillajes que deban tener una resistencia muy alta al desgaste, en su formación se debe obtener una tenacidad moderada. Es utilizado para cortar materiales de gran grosor y dureza y en herramientas para dar forma, expuesta a esfuerzos de flexión y cargas de impacto.

El acero XW41 puede suministrarse en varios acabados, incluyendo el laminado en caliente, premecanizado o en acabado definitivo. También puede obtenerse en forma de barras huecas, ejes y anillos. En la tabla 2-6 y 2-7 se presenta varias características del acero a utilizar.

Tabla 2-6: Espesor y dureza del material [19].

Herramientas para:	Espesor del material	Dureza del material (HB)	
		< 180 HRC	> 180 HRC
Corte, corte fino, cizallado, punzonado, doblado, desbarbado.	< 3 mm	60 – 62	58 – 60
	3 – 6 mm	58 - 60	54 - 56
Cizallas cortas para trabajar en frío, cuchillas para corte de plásticos, cuchillas de molinos granuladores			56 – 60
Cizallas circulares			58 - 60
Herramientas de tronzado y desbarbado para piezas de forja	En caliente		58 - 60
	En frío		56 - 58
Fresas para madera, escariadoras, mandrinado			58 - 60

Tabla 2-7: Dureza según la aplicación [19].

CONFORMADO	HRC
Herramientas para: Doblar, acuñar, embutición profunda, repujado y conformado por estirado	56 - 62
Troqueles de acuñar en frío	56 – 60
Sufrideras para prensado en frío	58 – 60
Estampas para prensado en frío	56 – 60
Laminadores para tubos y laminados de secciones, laminadores planos.	58 – 62
Sufrideras para el conformado de: Materiales cerámicos, ladrillos, azulejos, muelas de afilado, tabletas, plásticos abrasivos.	58 – 62
Herramientas para laminado en roscas	58 – 62
Herramientas para estampado en frío	56 – 60
Martillos de trituración	56 – 60
Bloques de estampado	56 – 60
Calibres, herramientas de medición, columnas guía, casquillos, manguitos, moletas, boquillas de chorreado con arena	58 – 62

Propiedades:

- Templado y revenido a 62 HRC.
- Características a la temperatura ambiente y temperaturas elevadas se expresa en la tabla 2-8.

Tabla 2-8: Propiedades según la temperatura [19].

Temperatura	20 °C	200 °C	400 °C
Densidad (Kg/m ³)	7700	7650	7600
Módulo de elasticidad (Mpa)	210000	200000	180000
Coefficiente de dilatación térmica:			
- A baja temperatura revenido por °C a partir de 20 °C	–	12,3 x 10 ⁻⁶	–
- A alta temperatura revenido por °C a partir de 20 °C	–	11,2 x 10 ⁻⁶	12 x 10 ⁻⁶
Conductibilidad térmica (W/m °C)	20	21	23
Calor específico (J/Kg °C)	460	–	–

En la tabla 2-9, se muestra las características mecánicas según la dureza del material.

Tabla 2-9: Resistencia a la compresión según su dureza [19].

DUREZA HRC	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Rc 0,2 (Mpa)
62	2200
60	2150
55	1900
50	1650

2.1.9. Compresión

La compresión es el esfuerzo al que está sometido un cuerpo por la aplicación de fuerzas que actúan en el mismo sentido, y tienden a acortarlo. Es lo contrario a la tracción y hace que se aproximen las diferentes partículas de un material, tendiendo a producir acortamientos o aplastamientos. Con lo que podemos decir, que la compresión es la resultante de las tensiones o presiones que existe dentro de un sólido deformable o medio

continuo, caracterizada porque tiene a una reducción de volumen o un acortamiento en determinada dirección. Cuando se somete a compresión una pieza de gran longitud en relación a su sección, se arquea recibiendo este fenómeno el nombre de pandeo [22]. Se muestra el diagrama de compresión en la figura 2-4.

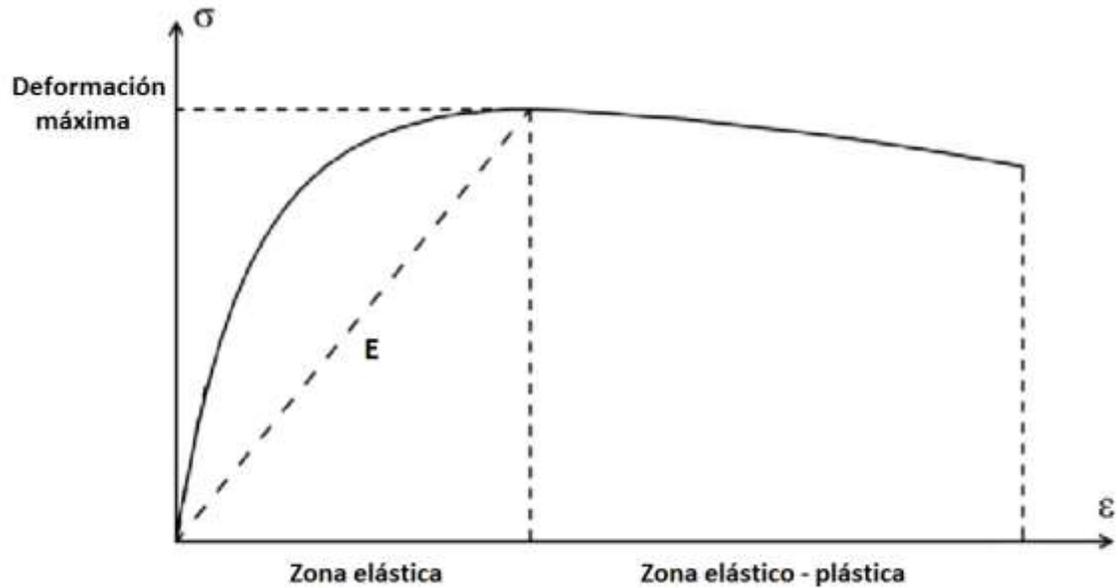


Figura 2-4: Diagrama esfuerzo - deformación [23].

El **esfuerzo de compresión** se calcula mediante la ecuación 2-1.

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \text{Ecuación 2-1}$$

Donde:

σ = Esfuerzo de compresión, [Pa] = (N/m²); [Psi] = (lbf/plg²).

F = Carga instantánea aplicada perpendicularmente a la sección de la probeta, [N] o [lbf].

A = Área de la sección original antes de aplicar la carga, [m²] o [plg²].

La **deformación nominal**, se determina con la ecuación 2-2.

$$\varepsilon = \frac{l_i - l_o}{l_o} = \frac{\Delta l}{l_o} \quad \text{Ecuación 2-2}$$

Donde:

ε = Deformación nominal, no tienen unidades.

l_o = Longitud original antes de aplicar la carga.

l_i = Longitud instantánea.

Algunas veces $l_i - l_o$ se indica simplemente mediante Δl .

Δl = Alargamiento producido por deformación, o cambio en longitud en un instante determinado, con respecto a la longitud inicial.

Miembros cargados axialmente a compresión

Existen varios tipos de miembros que trabajan a compresión, la columna es el más conocido. Las columnas son miembros verticales rectos cuyas longitudes son considerablemente mayores que su ancho. Hay tres modos generales según los cuales las columnas cargadas axialmente pueden fallar. Estos son: pandeo flexionante, pandeo local y pandeo torsionante. Estos modos de pandeo se definen brevemente como sigue:

- El pandeo flexionante (llamado también pandeo de Euler) es el tipo primario de pandeo analizado en este capítulo. Los miembros están sometidos a flexión cuando se vuelven inestables.

- El pandeo local ocurre cuando alguna parte o partes de la sección transversal de una columna son tan delgadas que se pandean localmente en compresión antes que los otros modos de pandeo puedan ocurrir. La susceptibilidad de una columna al pandeo local se mide por las relaciones ancho a espesor de las partes de su sección transversal.
- El pandeo torsionante flexionante puede ocurrir en columnas que tienen ciertas configuraciones en su sección transversal. Esas columnas fallan por torsión o por una combinación de pandeo torsional y flexionante.

Entre más larga sea una columna para una misma sección transversal, mayor es su tendencia a pandearse y menor será la carga que pueda soportar. La tendencia de un miembro a pandearse se mide por lo general con la relación de esbeltez, que se ha definido como la relación entre la longitud del miembro y su radio de giro mínimo.

La fórmula de Euler

El esfuerzo bajo el cual una columna se pandea, obviamente decrece conforme la columna se hace más larga. Después de que ésta alcanza una cierta longitud, ese esfuerzo se habrá reducido al límite proporcional del acero. Para esa longitud y longitudes mayores, el esfuerzo de pandeo será elástico.

Para que una columna se pandee elásticamente, deberá ser larga y esbelta. Su carga de pandeo P se puede calcular con la fórmula de Euler como se muestra en la ecuación 2-3:

$$P = \frac{\pi^2 * E * I}{L^2} \quad \text{Ecuación 2-3}$$

Donde:

E = Módulo de elasticidad

I = Momento de inercia

L = Longitud

Esta fórmula se escribe usualmente de un modo un poco diferente que implica la relación de esbeltez de la columna. Como $r = \sqrt{\frac{I}{A}}$, podemos decir que $I = Ar^2$. Sustituyendo este valor en la fórmula de Euler, y dividiendo ambos lados por el área de la sección transversal, se obtiene el esfuerzo de pandeo de Euler, mostrado en la ecuación 2-4:

$$\frac{P}{A} = \frac{\pi^2 * E}{\frac{L^2}{r}} = F_e \quad \text{Ecuación 2-4}$$

Donde:

F_e = Pandeo de Euler

Columnas cortas

En columnas muy cortas el esfuerzo de falla será igual al esfuerzo de fluencia y no ocurrirá el pandeo. (Para que una columna quede en esta clasificación, debe ser tan corta que no tendrá ninguna aplicación práctica. Siendo así, no se hará aquí más referencia a ellas.)

Columnas intermedias

En columnas intermedias, algunas fibras alcanzarán el esfuerzo de fluencia y otras no. Los miembros fallarán tanto por fluencia como por pandeo y su comportamiento se denomina inelástico. La mayoría de las columnas caen en este rango. (Para que la fórmula de Euler sea aplicable a estas columnas, ésta deberá modificarse de acuerdo con el concepto de módulo reducido o al de módulo tangente para tomar en cuenta la presencia de esfuerzos residuales.)

Columnas largas

La fórmula de Euler predice muy bien la resistencia de columnas largas en las que el esfuerzo axial de pandeo permanece por abajo del límite proporcional. Dichas columnas se pandean elásticamente [24].

2.1.10. Ensayos de compresión

Los ensayos de compresión – deformación se realizan si las fuerzas que operan en servicio son de este tipo. Se ejerce una fuerza compresiva y la probeta se contrae a lo largo de la dirección de la fuerza. Por convención, una fuerza de compresión se considera negativa, por tanto, produce un esfuerzo negativo. Además, puesto que l_o es mayor que l_i , las deformaciones de compresión calculadas son también necesariamente negativas.

Los ensayos de compresión se utilizan cuando se desea conocer el comportamiento del material bajo deformaciones permanentes grandes (plásticas), tal como ocurren en los procesos de conformación, o bien cuando tiene un comportamiento frágil a tracción [24].

2.1.11. Máquina para ensayos de compresión

La máquina de ensayos Metrotec Serie MTE-50 kN tienen las más avanzadas y fiables estructuras en marco de ensayos electromecánicos. El sistema de control computarizado

permite realizar el control en lazo cerrado de parámetros tales como fuerza de ensayo, deformación de la probeta y recorrido del travesaño, etc. El sistema realiza en tiempo real sobre la pantalla del PC diagramas de ensayo, curvas de ensayo y creación de informes de ensayo de diversos materiales y componentes para ajustarse a sus necesidades en control de calidad e investigación [4].

2.1.12. Norma ASTM D695:2015 [7].

La norma ASTM D695:2015, designada: Método de prueba estándar para propiedades de compresión de polímeros.

Alcance:

- Este método de prueba cubre la determinación de las propiedades mecánicas de polímeros rígidos reforzados y no reforzados, incluidos los compuestos de alto módulo, cuando se cargan en compresión a velocidades uniformes relativamente bajas de esfuerzo. Se emplean muestras de ensayo de forma estándar. Este procedimiento es aplicable para un módulo compuesto hasta 41,370 MPa (6,000,000 psi).
- Los valores establecidos en las unidades SI deben considerarse como estándar. Los valores entre paréntesis son solo para información.
- Esta norma no pretende abordar todas las preocupaciones de seguridad, si las hay, asociadas con su uso. Es la responsabilidad del usuario de esta norma para establecer prácticas de seguridad, salud y determinar la aplicabilidad de las limitaciones regulatorias antes del uso.

Significado y uso:

- Las pruebas de compresión proporcionan un método estándar de obtención de datos para investigación y desarrollo, control de calidad, aceptación o rechazo bajo especificaciones y propósitos especiales. Las pruebas no pueden considerarse

significativas para la ingeniería diseño en aplicaciones que difieren ampliamente de la escala de tiempo de carga de la prueba estándar. Tales aplicaciones requieren pruebas adicionales como impacto, fluencia y fatiga.

- Antes de continuar con este método de prueba, referencia debe hacerse a la especificación ASTM para el material siendo probado. Cualquier preparación de muestra de prueba, acondicionamiento, dimensiones y parámetros de prueba cubiertos en los materiales especificación tendrá prioridad sobre las mencionadas en este método de prueba. Si no hay especificaciones de materiales, entonces él se aplica las condiciones predeterminadas Tabla 1 en las listas de la Clasificación D4000 los estándares de materiales de ASTM que existen actualmente.

Especímenes de prueba:

En la figura 2-5 se muestra las dimensiones estándar de una probeta para las pruebas de compresión.

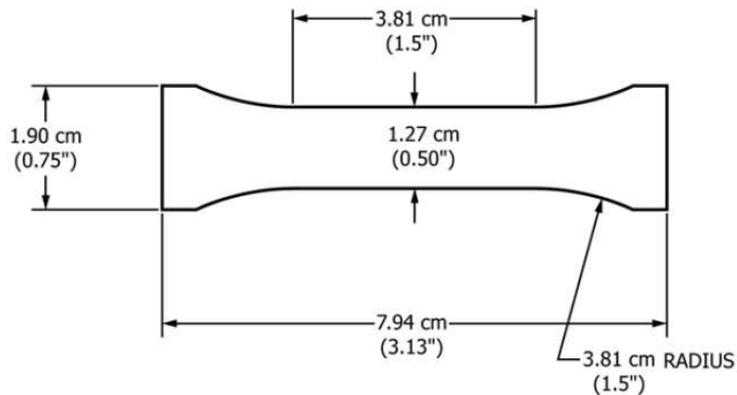


Figura 2-5: Muestra de prueba de compresión para materiales de menos de 3,2 mm de espesor [7].

- Para varilla, la muestra de prueba para mediciones de fuerza tendrá un diámetro igual al diámetro de la varilla y una longitud dos veces el diámetro de la varilla.

- Para tubos, la muestra de prueba para mediciones de resistencia tendrá un diámetro igual al diámetro del tubo y una longitud de 25,4 mm (1 pulg.). Esta muestra se usará para tubos con un grosor de pared de 1 mm (0.039 pulg.), diámetros internos de 6.4 mm (0.25 in.) o diámetros externos de 50.8 mm (2.0 in) o menos.
- Para materiales de 3.2 mm a 6.4 mm (0.125 in. A 0.25 in.), la muestra utilizada para las mediciones de resistencia consistirá en un prisma con una sección transversal de 12,7 mm (0,5 pulg.) por espesor del material y una longitud de 12.7 mm (0.5 in). (La longitud de la muestra puede acortarse si se observa pandeo).
- Cuando se prueba espuma sintética, la muestra de prueba estándar deberá tener la forma de un cilindro derecho de 25,4 mm (1 in) en diámetro por 50.8 mm (2 in) de longitud. Este espécimen es apropiado para las determinaciones de fuerza y módulo.
- Para material de más de 6.4 mm (0.25 in) de espesor, se usarán los tamaños de muestra preferidos son 12.7 por 12.7 por 25.4 mm (0,50 por 0,50 por 1 pulg.) (prisma), o 12,7 mm de diámetro por 25,4 mm (cilindro).

Especificaciones del soporte:

En la figura 2-6 se muestra las dimensiones del soporte de las probetas.

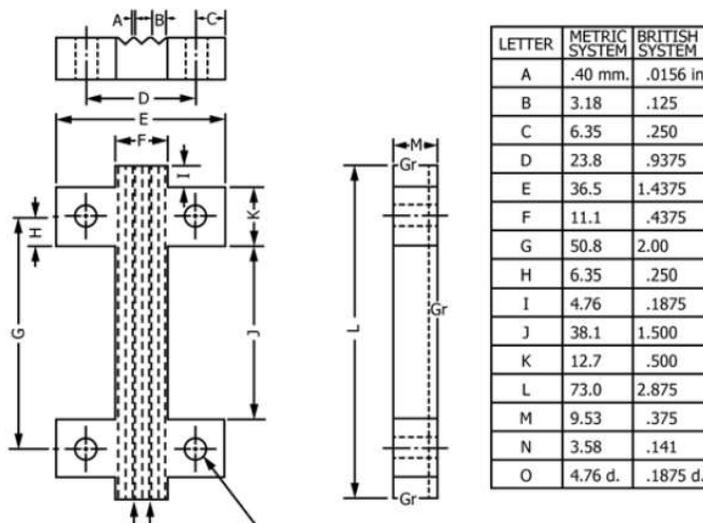


Figura 2-6: Especificaciones de la plantilla del soporte [7].

En la figura 2-7 se muestra las dimensiones de la base del utillaje.

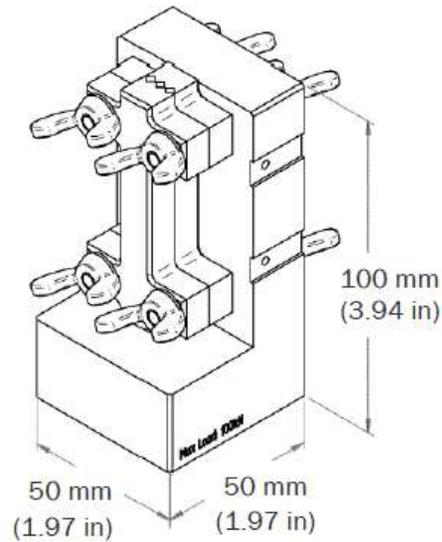


Figura 2-7: Especificaciones de la base del soporte [25].

- Acero laminado en frío para herramientas.
- Cuatro pernos y tuercas mecanizados de acero.

Número de muestras de prueba:

- Se analizó al menos cinco especímenes para cada muestra en el caso de los materiales isotrópicos.
- Diez especímenes, cinco normales y cinco paralelos con el eje principal de la anisotropía, se probará para cada muestra en el caso de materiales anisotrópicos.
- Las muestras que se rompen en algún defecto obvio serán descartadas y vuelto a hacer, a menos que tales defectos constituyan variable, el efecto del cual se desea estudiar.

Velocidad de prueba:

- La velocidad estándar de prueba fue de 1.3 ± 0.3 mm (0.050 ± 0.010 pulg.) / min.

Procedimiento:

- Mida el ancho y el espesor (o diámetro) del espécimen con una precisión de 0.025 mm (0.001 in) en varios puntos a lo largo de su longitud. Calcule y registre el valor mínimo del área de sección transversal. Mida la longitud de la muestra y registre el valor.
- Coloque la muestra de prueba entre las superficies de la herramienta de compresión, teniendo cuidado de alinear con la línea central de su largo con la línea central del émbolo y para asegurar que los extremos del espécimen son paralelos a la superficie de la herramienta de compresión. Ajuste la cruceta de la máquina de prueba hasta que solo contacte la parte superior del émbolo de la herramienta de compresión.
- Las nueces o los pernos en la plantilla deben apretarse con los dedos.

Cálculo:

- Resistencia a la compresión: Se realizó dividiendo la carga máxima de compresión por el área del corte transversal del espécimen. Expresando el resultado en megapascales o libras-fuerza por pulgada cuadrada.
- Intensidad del rendimiento de compresión: Se realizó dividiendo la carga de la muestra en el punto de fluencia por el área de sección transversal mínima de la muestra. Expresando el resultado en megapascales o libras-fuerza por pulgada cuadrada.
- Módulo de elasticidad: Lo determina el software de la máquina de ensayos de compresión.

2.1.13. Norma NTE INEN ISO 17025:2018

Establece los requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración: Contiene todos los requisitos que tienen que cumplir los laboratorios de ensayo y de calibración si desean demostrar que poseen un sistema de gestión, son técnicamente competentes y son capaces de generar resultados técnicamente válidos. Esta normativa establece las características de los formatos para registros, instructivos, procedimientos y manuales de mantenimiento para las máquinas y equipos de los laboratorios [5].

2.1.14. Accesorios

Guía de alineación

Las guías de alineación son líneas guía temporales al mover objetos, o al cambiar su distancia con respecto a otros objetos cercanos.

Las guías de alineación ayudan a alinear el centro de un objeto con el centro de otro (centro con centro) o el borde de un objeto con el borde de otro (borde con borde). Asimismo, puede alinear el borde de un objeto con el centro de otro (borde con centro) [27].

Perno 3/16

- **Material:** Los pernos Allen están fabricados en acero de medio carbono aleado tratado térmicamente. La dureza del perno en pulgadas es SAE GRADO 8. En el perno milimétrico la dureza es DIN CLASE 8.8 y 12.9.
- **Presentación:** El perno Allen se encuentra disponible en acero negro y en acero inoxidable, tanto en pulgadas como en milímetros, en rosca gruesa. Lo tenemos en cabeza cilíndrica y en cabeza avellanada o cónica como se expresa en la tabla 2-10 y 2-11. [28].

Tabla 2-10: Medidas pernos Allen [28].

PERNOS ALLEN		
DIAMETRO	LLAVE	
	CAB. REDONDA	CAB. AVELLANADA
5/32	1/8	n/a
3/16	5/32	1/8
1/4	3/16	5/32
5/16	1/4	3/16
3/8	5/16	7/32
1/2	3/8	5/16

Tabla 2-11: Medidas pernos Allen [28].

PERNOS ALLEN		
DIAMETRO	LLAVE	
	CAB. REDONDA	CAB. AVELLANADA
M4	3	n/a
M5	4	3
M6	5	4
M8	6	5
M10	8	6
M12	10	8

CAPITULO III

DISEÑO DEL PROYECTO

3.1. Selección de alternativas

Tabla 3-1: Alternativas de utillaje para máquina de ensayos Metrotec MTE-50 kN [27].

MARCA	IMAGEN	DESCRIPCIÓN	A/R
INSTRON		Dimensiones: 100x50x50 mm Material: Acero aleado	A
SEATALLAN LIMITED		Dimensiones: 130x50x50 mm Material: Fundición	R
TESTRESOURCES		Dimensiones: 130x50x50 mm Material: Acero al carbono	R

A: Aprueba / R: Rechaza.

La alternativa que se escoge es la diseñada por la empresa INSTRON ya que cumple con todas las características dictadas por la norma ASTM D695:2015 y a su vez es la recomendada por el fabricante en cuanto a la aplicación en el uso con la máquina de ensayos Metrotec Serie MTE-50 kN que es en la cual se va a utilizar el utillaje diseñado.

3.2. Cálculos

Esfuerzo a la fluencia

Para realizar los cálculos se escoge el acero AISI D2 que es utilizado en herramientas por su alta resistencia al desgaste, compresión, revenido y una excelente estabilidad en el temple, cumpliendo con lo establecido en los requerimientos de la norma ASTM D695:2015, también por ser el más comercial en el país. Utilizando la ecuación 3-1.

$$S_y \text{ acero AISI D2} = 210000 \text{ MPa}$$

$$S_{Sy} = 0,5S_y \quad \text{Ecuación 3-1}$$

Donde:

S_y = Límite de fluencia.

S_{Sy} = Esfuerzo a la fluencia.

$$S_{Sy} = 0,5 * 210000$$

$$S_{Sy} = 105 \times 10^3 \text{ MPa}$$

Esfuerzo de falla

Se utiliza la ecuación 3-2 para determinar el esfuerzo de falla:

$$S_u = S_{Sy} \qquad \text{Ecuación 3-2}$$

Donde:

S_u = Esfuerzo de falla.

S_{Sy} = Esfuerzo a la fluencia

$$S_u = 105 \times 10^3 \text{ MPa}$$

Áreas

En la figura 3-1 y 3-2 se muestra las medidas de la base y del soporte respectivamente del utillaje. En la ecuación 3-3 se muestra la fórmula para obtener sus áreas.

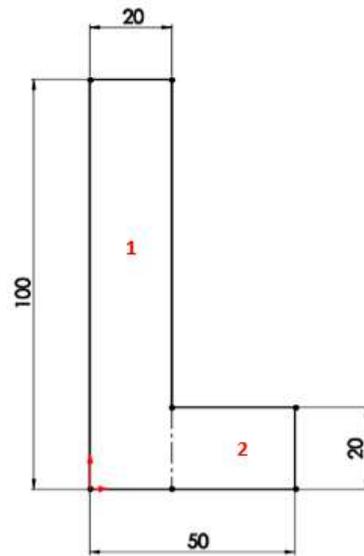


Figura 3-1: Elemento 1 en mm, área de la base del utillaje.

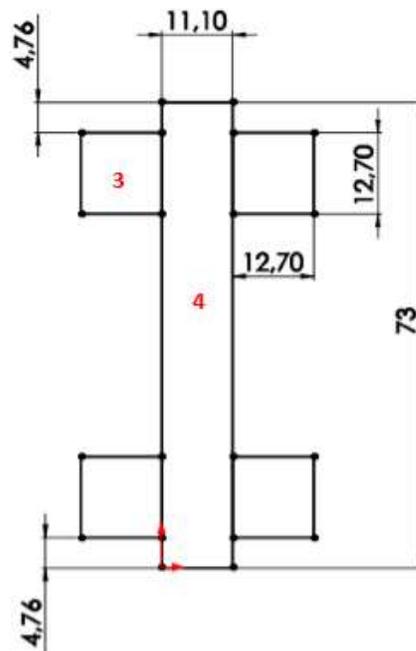


Figura 3-2: Elemento 2 en mm, área de una parte de la prensa que ayuda en la sujeción de las probetas.

$$A = b \cdot h$$

Ecuación 3-3

Donde:

b = Base

h = Altura

$$A_1 = (0,02 * 0,1)m$$

$$A_1 = 2 \times 10^{-3} m$$

$$A_2 = (0,03 * 0,02)m$$

$$A_2 = 6 \times 10^{-4} m$$

$$A_3 = 4 * (0,0127 * 0,0127)m$$

$$A_3 = 6,451 \times 10^{-4} m$$

$$A_4 = (0,0111 * 0,073)m$$

$$A_4 = 8,103 \times 10^{-4} m$$

A continuación, en la tabla 3-2, se enlista las áreas calculadas en cada elemento.

Tabla 3-2: Áreas calculadas

ÁREA	ELEMENTO 1 (m^2)	ELEMENTO 2 (m^2)
A_1	2×10^{-3}	0
A_2	6×10^{-4}	0
A_3	0	$6,451 \times 10^{-4}$
A_4	0	$8,103 \times 10^{-4}$
TOTAL	$2,6 \times 10^{-3}$	$1,4554 \times 10^{-3}$

Esfuerzo de compresión

La máquina en la que se utilizará el utillaje está designada como máquina de ensayos Metrotec Serie MTE que ejerce una fuerza máxima de compresión de 50 kN. Determinando el esfuerzo a la compresión con la ecuación 3-4.

$$F = 50 \text{ kN}$$

$$\sigma = \frac{F}{A} \qquad \text{Ecuación 3-4}$$

Donde:

σ = Esfuerzo de compresión

F = Fuerza máxima

A = Área de cada sección

$$\sigma_1 = \frac{F}{A_{E1}}$$

$$\sigma_1 = \frac{50 \text{ kN}}{2,6 \times 10^{-3}}$$

$$\sigma_1 = 19230,76 \text{ kPa}$$

$$\sigma_1 = 19,23 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = \frac{F}{A_{E2}}$$

$$\sigma_2 = \frac{50 \text{ kN}}{1,4554 \times 10^{-3}}$$

$$\sigma_2 = 34354,81 \text{ kPa}$$

$$\sigma_2 = 34,35 \text{ MPa}$$

Sumatoria de esfuerzos

$$\begin{aligned}\sigma_T &= \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_2 \\ \sigma_T &= 19,23 + 34,35 + 34,35 \\ \sigma_T &= 87,93 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Deformación

Para calcular la deformación se utilizó la ecuación 3-5:

$$\delta = \frac{PL}{AE} \quad \text{Ecuación 3-5}$$

Donde:

δ = Deformación máxima

P = Fuerza máxima

L = Longitud sección más grande

A = Área

E = Módulo Elástico

$$\begin{aligned}\delta_{E1} &= \frac{PL}{A_{E1}E} \\ \delta_{E1} &= \frac{(50 \times 10^3 \text{ N})(0,1 \text{ m})}{(2,6 \times 10^{-3})(210 \times 10^9 \text{ Pa})} \\ \delta_{E1} &= 9,16 \times 10^{-6} \text{ m}\end{aligned}$$

$$\delta_{E2} = \frac{PL}{A_{E2}E}$$

$$\delta_{E2} = \frac{(50 \times 10^3 \text{ N})(0,073 \text{ m})}{(1,4554 \times 10^{-3})(210 \times 10^9 \text{ Pa})}$$

$$\delta_{E2} = 1,19 \times 10^{-5} \text{ m}$$

Factor de seguridad

Determinar el valor exacto para el factor de seguridad es algo complicado debido a que no hay parámetros que establezcan normas claras al respecto, por lo cual se determinará mediante el método de Pugsley ya que cumple los parámetros necesarios dentro de un laboratorio para estimar el coeficiente [27].

Este método dice que el factor de seguridad es el resultado de multiplicar dos coeficientes, los cuales a su vez dependen de ciertas características acerca del diseño. Así, se tiene la ecuación 3-6:

$$n = n_x n_y \quad \text{Ecuación 3-6}$$

Donde:

n = Factor de seguridad

n_x = Coeficiente de seguridad que involucra las características A, B y C.

A = Calidad de los materiales, destrezas, mantenimiento e inspección.

B = Control sobre la carga aplicada a la parte.

C = Exactitud del análisis del esfuerzo, información experimental o experiencia con dispositivos similares.

n_Y = Coeficiente de seguridad que involucra las características D y E.

D = Peligro para el personal.

E = Impacto económico sobre las consecuencias del diseño.

Para manejar el criterio de Pugsley, es importante tener en cuenta que las características A, B y C se identifican con los símbolos: muy bien (mb), bien (b), regular (r) y pobre (p). Por su lado, las características D y E se identifican con los símbolos: muy serio (ms), serio (s) y no serio (ns).

En las tablas 3-3 y 3-4 se proporcionan los valores de n_X y n_Y para varias condiciones de A, B, C, D y E [31].

Tabla 3-3: Coeficientes n_X [31].

CARACTERISTICAS		B			
A	C	mb	b	r	P
mb	mb	1,1	1,3	1,5	1,7
	b	1,2	1,45		1,95
	r	1,3	1,6	1,9	2,2
	p	1,4	1,75	2,1	2,45
b	mb	1,3	1,55	1,8	2,05
	b	1,45	1,75	2,05	2,35
	r	1,6	1,95	2,3	2,65
	p	1,75	2,15	2,55	2,95
r	mb	1,5	1,8	2,1	2,4
	b	1,7	2,05	2,4	2,75
	r	1,9	2,3	2,7	3,1
	p	2,1	2,55	3	3,45
p	mb	1,7	2,15	2,4	2,75
	b	1,95	2,35	2,75	3,15
	r	2,2	2,65	3,1	3,55
	p	2,45	2,95	3,45	3,95

Tabla 3-4: Coeficientes n_Y [31].

CARACTERÍSTICAS	D		
	Ns	s	ms
E			
ns	1	1,2	1,4
s	1	1,3	1,5
ms	1,2	1,4	1,6

Se determinó los siguientes coeficientes:

$$A = mb$$

$$B = mb$$

$$C = mb$$

$$D = ns$$

$$E = ns$$

$$n_X = 1,1$$

$$n_Y = 1$$

$$n = 1,1 * 1$$

$$n = 1,1$$

Esfuerzo cortante máximo, utilizando la ecuación 3-7:

$$S_y \text{ acero AISI D2} = 210000 \text{ MPa}$$

$$\tau_{max} = \frac{S_y}{2n}$$

Ecuación 3-7

Donde:

τ_{max} = Esfuerzo cortante máximo

S_y = Límite de fluencia.

n = Factor de seguridad

$$\tau_{max} = \frac{210000}{2 * 1,1}$$

$$\tau_{max} = 95454,54 \text{ MPa}$$

Momento torsor

Para calcular el momento torsor se utilizó la ecuación 3-8:

$$M = F * d$$

Ecuación 3-8

Donde:

M = Momento torsor

F = Fuerza máxima

d = Distancia de la longitud más grande

$$M = 50 \text{ kN} * 0,1 \text{ m}$$

$$M = 5 \text{ kN m}$$

Rigidez de torsión

Se utilizó la ecuación 3-9 para el cálculo de la rigidez de torsión:

$$C = \beta bc^3 E \quad \text{Ecuación 3-9}$$

Donde:

C = Rigidez de torsión

b = Mayor longitud de la sección rectangular

c = Menor longitud de la sección rectangular

β = Factor numérico

E = Módulo de elasticidad

En la tabla 3-5, se determina la torsión mediante la comparación entre la mayor y menor longitud de la sección rectangular y el factor numérico determinado.

Tabla 3-5: Datos de torsión [32].

DATOS PARA LA TORSIÓN DE SECCIÓN RECTANGULAR											
b/c	1	1,5	1,75	2	2,5	3	4	6	8	10	>
α	0,208	0,231	0,239	0,246	0,258	0,267	0,282	0,299	0,307	0,313	0,333
β	0,141	0,196	0,214	0,229	0,249	0,263	0,281	0,299	0,307	0,313	0,333

$$\frac{b}{c} = \frac{0,1}{0,05} = 2$$

$$C = 0,229 * 0,1 * 0,05^3 * 210 \times 10^9$$

$$C = 60113 \text{ N m}^2$$

Ángulo de torsión por unidad de longitud

Se utilizó la ecuación 3-10.

$$\theta = \frac{M}{C}$$

Ecuación 3-10

Donde:

θ = Ángulo de Torsión por unidad de longitud

M = Momento torsor

C = Rigidez de torisión

$$\theta = \frac{5000}{60113}$$

$$\theta = 0,0831 \text{ rad}$$

Los valores de los esfuerzos calculados son menores al límite elástico del material, por lo tanto, las dimensiones del utillaje soportan la carga máxima de 50 kN que ejerce la máquina de ensayos Metrotec Serie MTE en un caso extremo en que falle las seguridades de la máquina y empiece a comprimir.

Velocidad de mecanizado

En la tabla 3-6, se extrae los valores de la velocidad de corte para aceros herramientas en cuanto al desbaste, terminado y roscado según sea necesario en los cálculos.

Tabla 3-6: Velocidades recomendadas de corte para diferentes materiales [33].

VELOCIDAD DE CORTE PARA HERRAMIENTAS DE CARBURO						
TORNEADO, FRESADO, TALADRADO, LIMADO						
	Desbaste		Terminado		Rosado	
Material	ft/min	m/min	ft/min	m/min	ft/min	m/m
Acero para máquinas	360	110	460	140	145	44
Acero para herramientas	196	60	229	70	78	24
Hierro fundido	229	70	278	85	91	28
Bronce						
Aluminio	492	150	3280	1000	196	60
Latón						

El factor de avance por diente es de 0.1 mm.

$$\text{Acero herramientas} = 60 \text{ m/min}$$

$$\text{Avance } s \text{ mm por vuelta} = 0.1 = f$$

$$v_c = 60 \text{ m /min}$$

Para la fresa de 12 mm, en el desbaste, la velocidad se obtuvo con la ecuación 3-11:

$$S = \frac{V_c \times 1000}{\pi \times D \times z} \quad \text{Ecuación 3-11}$$

Donde:

D = Diámetro

z = Número de dientes en la herramienta

V_c = Velocidad de corte

S = Velocidad de giro

$$S = \frac{60 \text{ m/min} \times 1000}{\pi \times 12 \text{ mm} \times 4}$$

$$S = 397.88 \text{ rpm} \approx 398 \text{ rpm}$$

Desbaste 70%

$$S = 278.6 \text{ rpm}$$

La velocidad de avance se obtuvo con la ecuación 3-12:

$$F = f * S * z \quad \text{Ecuación 3-12}$$

Donde:

F = Velocidad de avance

f = Avance por diente

$$F = 0,1 \text{ mm} \times 278.6 \text{ rpm} \times 4$$

$$F = 111.44 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$$

Para la fresa 6 carburada, en el acabado, la velocidad de corte es de:

$$S = \frac{V_c \times 1000}{\pi \times D \times z}$$

$$S = \frac{60 \text{ m/min} \times 1000}{\pi \times 6 \text{ mm} \times 4}$$

$$S = 795.77 \text{ rpm} \approx 796 \text{ rpm}$$

Desbaste 65%

$$S = 517.4 \text{ rpm}$$

$$F = f * s * z$$

$$F = 0.1 \text{ mm} \times 517.4 \text{ rpm} \times 4$$

$$F = 206.96 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$$

Para la fresa de 3mm carburada, en el acabado, la velocidad de corte es de:

$$S = \frac{V_c \times 1000}{\pi \times D \times z}$$

$$S = \frac{60 \text{ m/min} \times 1000}{\pi \times 3 \text{ mm} \times 4}$$

$$S = 1591.54 \text{ rpm} \approx 1592 \text{ rpm}$$

Acabado 90%

$$S = 1432.8 \text{ rpm}$$

$$F = f * s * z$$

$$F = 0.1 \text{ mm} \times 1432.8 \text{ rpm} \times 4$$

$$F = 573.12 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$$

En la tabla 3-6, se expresa los resultados determinados de la velocidad de cortes en referencia a su medida de la herramienta y proceso ideal.

Tabla 3-7: Velocidades de corte calculadas.

Herramienta	Proceso	S (rpm)	F (mm/min)
12 mm	Desbaste	398	111.44
6 mm	Desbaste	796	206.96
3 mm	Acabado	1592	573.12

Selección de acabados y tolerancias

En la tabla 3-7, se determina el acabado de las partes del utillaje según las características y aplicaciones que tiene el utillaje, en la tabla 3-8, se escoge la calidad de tolerancia según la característica a utilizar en el utillaje.

Tabla 3-8: Velocidades de corte calculadas [34].

TIPO	AGUJERO	EJE	CLASE	CARACTERISTICA	APLICACIONES	ACABADO
Medio	H8	h9	Deslizante		Poleas fijas, manivelas y acoplamientos deslizantes sobre el eje	N7/N8
		e8	Giratorio	Juego mediano	Piezas de motores, bombas, ventiladores	N7/N8
		d9	Holgado	Juego amplio, no de uso cuando es esencial la precisión, pero bueno para grandes variaciones de temperatura con gran velocidad de giro y presión de apoyo de los ejes	Soporte de ejes, poleas locas	N7/N8

Tabla 3-9: Calidad tolerancia [34].

CALIDAD DE TOLERANCIA	
IT 01 e IT 0	Especial precisión. Patrones.
IT 1 a IT 3	Calibres y piezas de gran precisión
IT 4 a IT 11	Piezas o elementos que han de ajustar
IT 12 a IT 18	Superficies libres

IT: Tolerancia fundamental

Simulación en programa cad

Mediante software se realizó el esquema del utillaje y se les asignó el material a todos los componentes del utillaje que en este caso es el acero AISI D2 que es utilizado para herramientas como se muestra en la figura 3-3.

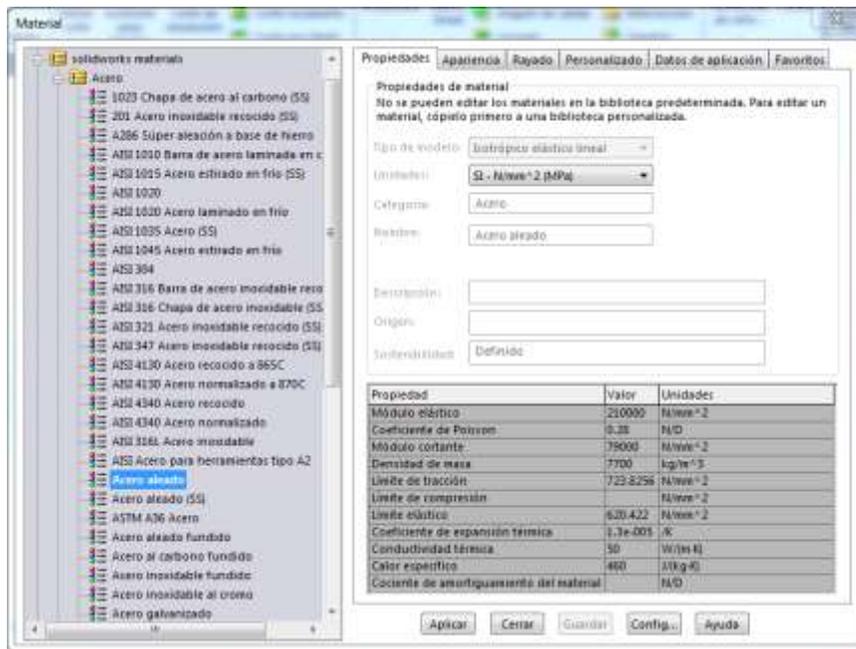


Figura 3-3: Asignación del material programa CAD.

En la figura 3-4 se muestra donde se ubicó la sujeción del utillaje, en toda la cara inferior de la base y una carga de 50 kN distribuida en las caras superiores del utillaje.

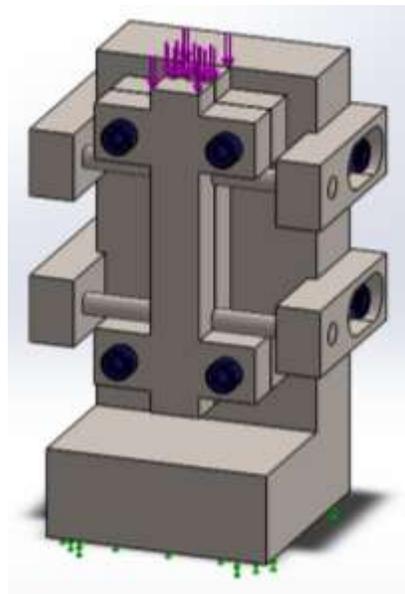


Figura 3-4: Sujeción y carga aplicada.

Resultados de la simulación

Obtenemos la tensión de flexión a lo largo del utillaje determinados los puntos críticos con una escala de colores como se muestra en la figura 3-5.

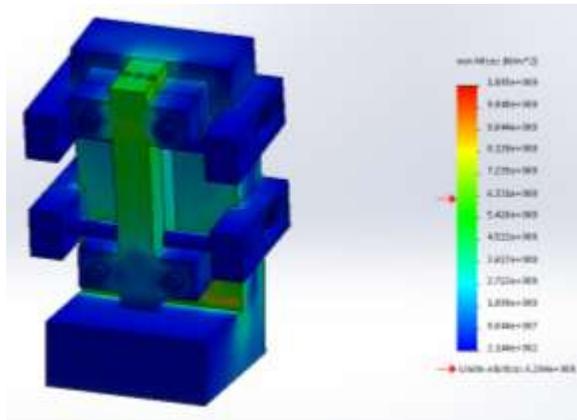


Figura 3-5: Tensión máxima.

En la figura 3-6 tenemos los valores del factor de seguridad del utillaje que es de 1,1.

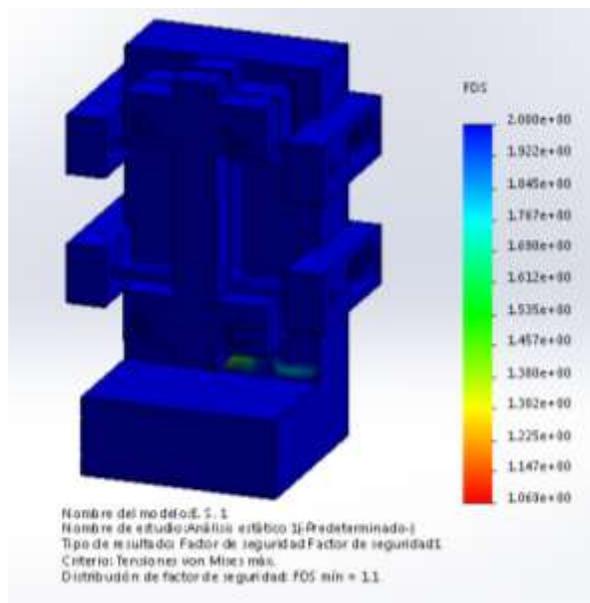


Figura 3-6: Factor de seguridad.

En la figura 3-7 tenemos los valores máximos de deflexión en el utillaje: $1,085 \times 10^9 \frac{N^2}{m}$

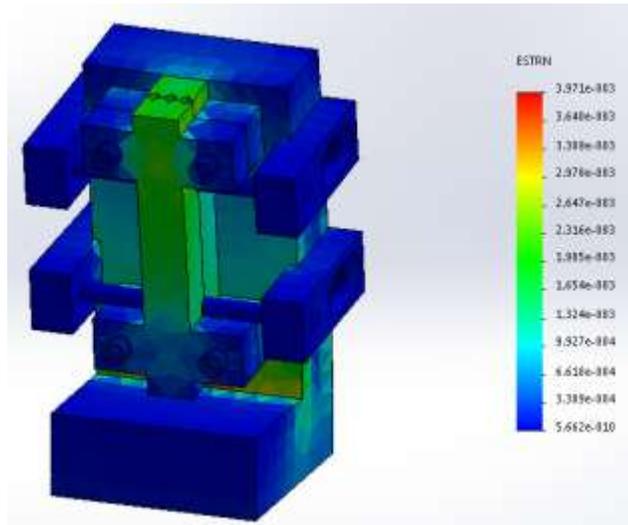


Figura 3-7: Deformación máxima.

El utillaje soporta una carga de 50 kN distribuido en las caras superiores, produciéndose una deformación de 0,003971 mm en la parte media de sus componentes, lo que demuestra que el utillaje soporta la carga máxima que ejerce la máquina de ensayos Metrotec Serie MTE.

3.3. Presupuesto

Tabla 3-10: Presupuesto del proyecto

RECURSOS	
ESTUDIANTE	
DESCRIPCIÓN	COSTOS (USD)
Probetas ABS	63
Diseño	150
Internet	50
Mano de obra	200
Imprevistos (Transporte, alimentación, material de oficina)	100
SUBTOTAL	563
INSTITUCIÓN	
DESCRIPCIÓN	COSTOS (USD)
Acero (Utillaje y probetas)	200
Probetas ASA	40
Accesorios	20
Norma ASTM D695:2015	55,2
Mecanizado	563
Ensayo Tracción	75
Ensayo Flexión	75
Ensayo de Dureza	75
Ensayo de Metalografía	150
Ensayo de Espectrometría	300
Pruebas de Compresión	150
SUBTOTAL	1703,2
TOTAL	2266,2

3.4. Especificaciones técnicas

Documentación bajo Norma NTE INEN ISO 17025:2018: Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración.

Plan maestro de mantenimiento preventivo

PLAN MAESTRO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO												
Nombre:		Utillaje compresión de polímeros				Código:			Ubicación:			LRM
Año	Mes	Semana				Frecuencia				Acción		
		1	2	3	4	Mensua 1	Trimestra 1	Semestra 1	Anua 1			
2018	Enero	1	1	1	1	4	12	24	48	Con un cepillo o brocha retirar el polvo o sedimentos que se encuentran adheridos al equipo.		
	Febrero	1	1	1	1	4						
	Marzo	1	1	1	1	4						
	Abril	1	1	1	1	4	12			Con una franela retirar los restos de polvo que fueron desplazados con las herramientas anteriormente detalladas.		
	Mayo	1	1	1	1	4						
	Junio	1	1	1	1	4						
	Julio	1	1	1	1	4	12	24		Aplicar grasa con base de Litio (Multifak EP2) en las partes móviles del equipo y sujeción, que sean de fácil acceso.		
	Agosto	1	1	1	1	4						
	Septiembre	1	1	1	1	4						
	Octubre	1	1	1	1	4	12			48	Limpieza del piso alrededor de la máquina una vez concluido los ensayos ya que el polvo o sedimentos pueden afectar otras máquinas o equipos, hasta el mismo operador.	
	Noviembre	1	1	1	1	4						
	Diciembre	1	1	1	1	4						

Control de equipos

INTERVENCIONES REALIZADAS EN EL UTILLAJE				
No.	Fecha	Descripción de la Actividad	Responsable	Firma
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

INSTRUCTIVO PARA EL MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA PROPIEDADES DE COMPRESIÓN DE POLÍMEROS.

OBJETIVO

Establecer las directrices necesarias para realizar el análisis de las propiedades de compresión de polímeros.

ALCANCE

Este método de prueba cubre la determinación de la mecánica propiedades de rígido reforzado y no reforzado de polímeros, incluidos los compuestos de alto módulo, cuando se cargan en compresión a velocidades uniformes relativamente bajas de esfuerzo o con carga.

DESCRIPCION DE LAS ACTIVIDADES

Solicitar equipo
Revisar y registrarse en la hoja de control de equipos para notificar la salida del mismo
<ul style="list-style-type: none">• Realizar la verificación correspondiente del equipo y de todos los accesorios con los que se cuenta. (de existir alguna observación notificarlo en el registro)• Llenar la hoja de registro para el control de equipos e instrumentos que entran o salen de su posición
Ensayo in situ
<ul style="list-style-type: none">• Desmontar la sujeción de la maquina universal Metrotec Serie MTE-50 kN.• Ubicar el utillaje en las guías de la sujeción de la máquina universal Metrotec Serie MTE-50 kN.• Ajustar las sujeciones con el utillaje.
Ensayos de muestras
<ul style="list-style-type: none">• Mida el ancho y el espesor (o diámetro) del espécimen con una precisión de 0.025 mm (0.001 in) en varios puntos a lo largo de su longitud. Calcule y registre el valor mínimo del área de sección transversal. Mida la longitud de la muestra y registra el valor• Coloque la muestra de prueba entre las superficies de la herramienta de compresión, teniendo cuidado de alinear la línea central de su largo eje con la línea central del émbolo y para asegurar que los extremos del espécimen son paralelos a la superficie de la herramienta de compresión.• Ajuste la cruceta de la máquina de prueba hasta que solo contacte la parte superior del émbolo de la herramienta de compresión.

CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1. Conclusiones

- Con la selección del material AISI D2 que tiene un $S_y = 210000 \text{ MPa}$ recomendado para la fabricación de utillajes (ANEXO C), se cumple con lo establecido en la sección 6.4, nota 1 de la norma ASTM D695 la que estipula usar acero herramental laminado en frío, el cual garantiza que el utillaje soportará la máxima carga que ejerce la máquina Metrotec Serie MTE, ejecutando una carga máxima de 50 kN y produciendo una deformación máxima de 0,0039 mm.
- Se obtuvieron las medidas de la base del utillaje, de largo = 50 mm, ancho = 50 mm, alto = 100 mm, espesor inferior = 24 mm y superior = 20 mm para lo cual se tomó en cuenta las relaciones simétricas entre las distancias de sujeción y el contorno del tipo de probeta que estipula la norma ASTM D695.
- Las medidas de la guía de alineación ($l = 40 \text{ mm}$; $a = 15 \text{ mm}$; $h = 10 \text{ mm}$), eje de alineación ($l = 26,650 \text{ mm}$; $\varnothing = 4,760 \text{ mm}$) y los puntos de sujeción a la base del utillaje, se determinaron según las relaciones dimensionales de las probetas propuestas en la norma ASTM D695, ya que puede variar la forma de sujeción según el tipo de polímero en el que se realice análisis.
- El utillaje cumple con lo establecido en la sección 5.3 de la norma ASTM D695 la cual expresa que la construcción de la herramienta debe estar de tal manera que la carga axial se aplica a través de superficies que son planas y paralelas entre sí, en un plano normal al eje de carga vertical.
- Se realizó la documentación del método ASTM D695:2015 bajo la norma NTE INEN ISO 17025:2018 desarrollando: El plan maestro de mantenimiento preventivo, el formato para el control de equipos y el instructivo para el método de prueba estándar para propiedades de compresión de polímeros.
- Se confirmó que la velocidad establecida por la norma ASTM D695 que es de 1,3 mm/min para realizar la prueba de compresión de polímeros es la adecuada ya que se puede observar y registrar la gráfica de carga – deformación con mayor detalle y así obtener valores con mayor precisión.

- La resistencia a la compresión de los polímeros utilizados se encuentra dentro de los rangos (34 – 93 MPa). Obteniendo buenos resultados al realizar las pruebas para verificar que el utillaje es funcional en el laboratorio del CFPMC, determinando para el polímero PLA un valor de 67,236 MPa y para el polímero ASA un valor de 37,666 MPa.
- Por el diseño y forma del utillaje es fácil su manipulación, ocupa un mínimo espacio, el montaje y desmontaje de los accesorios se los puede realizar con las manos y el mantenimiento es mínimo.
- El utillaje al ser utilizado no genera ningún impacto auditivo, tampoco residuos o desechos que afecte a los operarios.

3.2. Recomendaciones

- Cuando se realiza el montaje de las probetas en el utillaje verificar que los dientes de la prensa que se forman, tengan una alineación paralela ya que de lo contrario se produce una desviación en la sujeción correcta de la probeta, afectando la prueba.
- Al mecanizar las partes del utillaje tener mucho cuidado ya que por la alta resistencia del acero AISI D2 los herramientas para su desbaste se pueden romper y salir disparados.
- Antes de realizar la prueba de compresión, siempre setear la máquina Metrotec Serie MTE.
- Para obtener mejor visualización de las pruebas se puede desmontar las guías de la probeta una vez que sea ubicada y es ajustada en el utillaje.
- Debido a las varias formas y propiedades de los polímeros, las probetas a utilizar en el ensayo deben cumplir lo establecido en la norma ASTM D695:2015. Siempre revisar la sección 6, de la norma antes de cada prueba.
- Al realizar la prueba de compresión con el utillaje mantener libre de impurezas los platos de la máquina Metrotec Serie MTE.
- Siempre revisar las seguridades de máquina Metrotec Serie MTE antes de realizar cualquier tipo de prueba.

Bibliografía

- [1] A. N. D. ECUADOR, CONSTITUCIÓN DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR, MONTECRISTI: EDICIONES LEGALES, 2008.
- [2] A. N. D. ECUADOR, LEY ORGÁNICA DE EDUCACIÓN SUPERIOR, QUITO: EDICIONES LEGALES, 2010.
- [3] J. MONAR y J. NARANJO, «CENTRO DE FOMENTO PRODUCTIVO METALMECÁNICO CARROCERO,» 02 FEBRERO 2016. [En línea]. Available: <http://centrocarrocero.tungurahua.gob.ec/>. [Último acceso: 10 JULIO 2018].
- [4] TECHLAB SYSTEMS, S.L., «Manual, MAQUINAS UNIVERSALES DE ENSAYOS Electromecánicas, Modelos MTE-10/25/50,» METROTEC, Illinois, 2015.
- [5] SERVICIO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN , *NTE INEN ISO 17025 - Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración*, Quito: INEN, 2018.
- [6] Touchstone Research Laboratory, «TOUSCHSTONE,» MILLENNIUM CENTER, 2015. [En línea]. Available: http://www.trl.com/astm_d695_compression_testing_of_rigid_plastics/. [Último acceso: 12 Julio 2018].
- [7] American Society for Testing and Materials, «Designation: D695 - Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics,» Desarrollo de Normas, Guías y Recomendaciones Internacionales emitidas por el Comité de Obstáculos Técnicos al Comercio (OTC) de la Organización Mundial del Comercio., West Conshohocken, 2015.

- [8] D. R. Askeland, CIENCIA E INGENIERÍA DE LOS MATERIALES, México: International Thomson, 1998.
- [9] D. R. Askeland, «Clases de polímeros,» de *Ciencia e Ingeniería de los materiales*, Missouri, International Thomson Editores, 1998, p. 450.
- [10] Á. M. Cornish, «Abreviaturas de polímeros,» de *El ABC de los polímeros*, México, uia, 1997, p. 20.
- [11] WIKIPEDIA, «WIKIPEDIA,» 28 Octubre 2018. [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/%C3%81cido_polil%C3%A1ctico. [Último acceso: 5 Febrero 2019].
- [12] TRESDPRO, «TRESDPRO,» 9 Septiembre 2018. [En línea]. Available: <https://tresdpro.com/que-es-el-material-pla/>. [Último acceso: 19 Febrero 2019].
- [13] MATWEB, «MATERIAL PROPERTY DATA,» 2019. [En línea]. Available: <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=331c201b232445959743eea7460d546a>. [Último acceso: 20 Febrero 2019].
- [14] Z. Humberto, «mexpolímeros,» Marzo 2015. [En línea]. Available: <https://www.mexpolimeros.com/asa.html>. [Último acceso: Noviembre 2018].
- [15] F. J. Parres, «Acrilonitrilo estireno acrilato,» de *Investigación de las variables limitantes en la recuperación de residuos de poliestireno procedentes del sector envase*, Valencia, 2005, pp. 41-42.
- [16] F. J. Parres, «Propiedades copolímero ASA,» de *Investigación de las variables limitantes en la recuperación de residuos de poliestireno procedentes del sector envase*, Valencia, 2005, p. 42.
- [17] W. D. Callister, «Clasificación de varias aleaciones férreas,» de *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*, Utah, REVERTÉ S.A., 1940, p. 370.

- [18] W. D. Callister, «Aleaciones férreas,» de *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*, Utah, REVERTÉ S.A., 1940, pp. 369-371.
- [19] IVAN BOHMAN C. A., *Catálogo de Productos*, Quito, 2018.
- [20] Federación de Enseñanza de Comisiones Obreras de la Universidad de Andalucía, «TIPOS DE ESFUERZOS FÍSICOS,» *Temas para la educación*, vol. 1, pp. 8-9, 2011.
- [21] W. D. Callister, «Propiedades Elásticas de los Materiales,» de *Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales*, Utah, REVERTÉ, 1995, p. 119.
- [22] J. C. McCormac y S. F. Csernak, *Diseño de Estructuras de Acero*, Mexico: Alfaomega, 2012.
- [23] W. D. Callister, «Propiedades Elásticas de los Materiales,» de *Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales*, Utah, REVERTÉ, 1995, pp. 116-117.
- [24] INSTRON, «Dispositivo de prueba de compuestos - compresión,» Tool Works Inc., Illinois, 2010.
- [25] Corel, «Corel,» 2012. [En línea]. Available: http://product.corel.com/help/CorelDRAW/540240626/Main/ES/Doc/wwhelp/wwhtml/common/html/wwhelp.htm?context=CorelDRAW_Help&file=CorelDRAW-Using-alignment-guides.html. [Último acceso: 15 11 2018].
- [26] La Casa del Perno, «La Casa del Perno,» 2010. [En línea]. Available: http://www.casadelperno.com/Brochures/Perneria_Allen_Prisionero.pdf. [Último acceso: 18 11 2018].
- [27] SEATALLAN LIMITES, *ST109 ASTM D 695 Compression Anti-Buckling Fixture for Composites*, Curdridge, Southampton, 2018.
- [28] L. C. Ríos y E. Roncancio, «Análisis y desarrollo de un programa de selección de factores de seguridad, para diseño de elementos mecánicos,» Pereira, 2007.
- [29] T. S., *Resistencia de Materiales*, Madrid: ESPASA CALPE S.A., 1957.

- [30] Metalmecánica Fácil, «Metalmecánica Fácil,» 23 Diciembre 2016. [En línea]. Available: <https://www.metalmeccanica-facil.mahtg.com/velocidad-de-corte-maquinas-herramientas/>. [Último acceso: 20 Febreo 2019].
- [31] I. M. Carrillo, *Tolerancias*, Ambato, 2010.
- [32] AENOR, Fernández de la Hoz, ISO 286 - Tolerancias y ajustes, Madrid: AENOR, 1996.
- [33] AENOR, Fernandez de la Hoz, «ISO 1302 - Indicación de la Calidad Superficial en la Documentación Técnica de Productos,» AENOR, Madrid, 2002.
- [34] AENOR, Fernández de la Hoz, ISO 2768 - Tolerancia para Cotas Geométricas sin Indicación individual de Tolerancia, Madrid: AENOR, 1993.
- [35] J. C. L. Arenales, «Biblioteca Universidad Rafael Landívar,» 2003. [En línea]. Available: <http://biblio3.url.edu.gt/Libros/2013/ing/pim/3.pdf>. [Último acceso: Jueves Octubre 2018].
- [36] S. H. Avner, *Introducción a la Metalurgia Física*, México D.F.: Naucalpan de Juárez, 1995.
- [37] A. S. Centeno y J. Toapanta Carrasco, «Sistema de Transporte,» de *Diseño, construcción e implementación de una máquina envasadora y dosificadora de refrescos para la industria de lácteos Santillán "PRASOL"*, Riobamba - Ecuador, 2015, pp. 9 - 11.
- [38] J. Guamanquispe, *Máquinas de Elevación y Transporte*, Ambato, 2015.
- [39] E. L. Vasquez, «Aceros Ingeniería al carbono,» *Cia. General de Aceros S.A.*, vol. 5, pp. 2-3, 2013.
- [40] Metals Handbook, «Composiciones de acero al carbono,» *ASM HANDBOOK*, vol. 1, p. 249, 2005.

- [41] W. D. Callister, «TABLA C.1 Propiedades de aleaciones férreas,» de *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*, Utah, REVERTÉ S.A., 1940, p. 790.
- [42] TECHLAB SYSTEMS, S.L., «Manual, MÁQUINAS UNIVERSALES DE ENSAYOS Electromecánicas, Modelos MTE-10/25/50,» METROTEC, Illinois, 2015.
- [43] SERVICIO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, *NTE INEN ISO17025 - Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y de Calibración*, Quito: INEN, 2018.
- [44] R. G. Budynas y K. J. Nisbett, *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*, Mexico: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA S.A., 2008.
- [45] W. F. Smith, «Propiedades mecánicas típicas y aplicaciones de los aceros de carbono,» de *Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales*, Florida, Mc Graw Hill, 1998, p. 439.

ANEXOS A:
Norma ASTM D695:2015



Designation: D695 - 15

Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics¹

This standard is issued under the fixed designation D695; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last approval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or approval.

This standard has been approved for use by agencies of the U.S. Department of Defense.

1. Scope^{*}

1.1 This test method covers the determination of the mechanical properties of unreinforced and reinforced rigid plastics, including high-modulus composites, when loaded in compression at relatively low uniform rates of straining or loading. Test specimens of standard shape are employed. This procedure is applicable for a composite modulus up to and including 41,370 MPa (6,000,000 psi).

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values in parentheses are for information only.

Note 1—For compressive properties of resin-matrix composites reinforced with oriented continuous, discontinuous, or cross-ply reinforcements, tests may be made in accordance with Test Method D3410/D3410M or D6641/D6641M.

1.3 This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use. A specific precautionary statement is given in 13.1.

Note 2—This standard is equivalent to ISO 604.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

- D618 Practice for Conditioning Plastics for Testing
- D638 Test Method for Tensile Properties of Plastics
- D883 Terminology Relating to Plastics
- D3410/D3410M Test Method for Compressive Properties of Polymer Matrix Composite Materials with Unsupported Gage Section by Shear Loading
- D4000 Classification System for Specifying Plastic Materials

D5947 Test Methods for Physical Dimensions of Solid Plastics Specimens

D6641/D6641M Test Method for Compressive Properties of Polymer Matrix Composite Materials Using a Combined Loading Compression (CLC) Test Fixture

E4 Practices for Force Verification of Testing Machines

E83 Practice for Verification and Classification of Extensometer Systems

E691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method

2.2 ISO Standard:³

ISO 604 Plastics—Determination of Compressive Properties

3. Terminology

3.1 **General**—The definitions of plastics used in this test method are in accordance with Terminology D883 unless otherwise indicated.

3.2 Definitions:

3.2.1 **compressive deformation**—the decrease in length produced in the gage length of the test specimen by a compressive load. It is expressed in units of length.

3.2.2 **compressive strain**—the ratio of compressive deformation to the gage length of the test specimen, that is, the change in length per unit of original length along the longitudinal axis. It is expressed as a dimensionless ratio.

3.2.3 **compressive strength**—the maximum compressive stress (nominal) carried by a test specimen during a compression test. It may or may not be the compressive stress (nominal) carried by the specimen at the moment of rupture.

3.2.4 **compressive strength at failure (nominal)**—the compressive stress (nominal) sustained at the moment of failure of the test specimen if shattering occurs.

3.2.5 **compressive stress (nominal)**—the compressive load per unit area of minimum original cross section within the gage boundaries, carried by the test specimen at any given moment. It is expressed in force per unit area.

3.2.5.1 **Discussion**—The expression of compressive properties in terms of the minimum original cross section is almost

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D20 on Plastics and is the direct responsibility of Subcommittee D20.10 on Mechanical Properties. Current edition approved Sept. 1, 2015. Published September 2015. Originally approved in 1942. Last previous edition approved in 2010 as D695 - 10. DOI: 10.1520/D0695-15.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For Annual Book of ASTM Standards volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

³ Available from American National Standards Institute (ANSI), 25 W. 43rd St., 4th Floor, New York, NY 10036, <http://www.ansi.org>.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

universally used. Under some circumstances the compressive properties have been expressed per unit of prevailing cross section. These properties are called "true" compressive properties.

3.2.6 *compressive stress-strain diagram*—a diagram in which values of compressive stress are plotted as ordinates against corresponding values of compressive strain as abscissas.

3.2.7 *compressive yield point*—the first point on the stress-strain diagram at which an increase in strain occurs without an increase in stress.

3.2.8 *compressive yield strength*—normally the stress at the yield point (see also section 3.2.11).

3.2.9 *crushing load*—the maximum compressive force applied to the specimen, under the conditions of testing, that produces a designated degree of failure.

3.2.10 *modulus of elasticity*—the ratio of stress (nominal) to corresponding strain below the proportional limit of a material. It is expressed in force per unit area based on the average initial cross-sectional area.

3.2.11 *offset compressive yield strength*—the stress at which the stress-strain curve departs from linearity by a specified percent of deformation (offset).

3.2.12 *percent compressive strain*—the compressive deformation of a test specimen expressed as a percent of the original gage length.

3.2.13 *proportional limit*—the greatest stress that a material is capable of sustaining without any deviation from proportionality of stress to strain (Hooke's law). It is expressed in force per unit area.

3.2.14 *slenderness ratio*—the ratio of the length of a column of uniform cross section to its least radius of gyration. For specimens of uniform rectangular cross section, the radius of gyration is 0.289 times the smaller cross-sectional dimension. For specimens of uniform circular cross section, the radius of gyration is 0.250 times the diameter. For specimens of tubular cross section, the radius of gyration is calculated as follows:

$$R_g = \frac{\sqrt{D^2 + d^2}}{4} \quad (1)$$

where:

R_g = radius of gyration,
 D = outside diameter, and
 d = inside diameter.

4. Significance and Use

4.1 Compression tests provide information about the compressive properties of plastics when employed under conditions approximating those under which the tests are made.

4.2 Compressive properties include modulus of elasticity, yield stress, deformation beyond yield point, and compressive strength (unless the material merely flattens but does not fracture). Materials possessing a low order of ductility may not exhibit a yield point. In the case of a material that fails in compression by a shattering fracture, the compressive strength has a very definite value. In the case of a material that does not

fail in compression by a shattering fracture, the compressive strength is an arbitrary one depending upon the degree of distortion that is regarded as indicating complete failure of the material. Many plastic materials will continue to deform in compression until a flat disk is produced, the compressive stress (nominal) rising steadily in the process, without any well-defined fracture occurring. Compressive strength can have no real meaning in such cases.

4.3 Compression tests provide a standard method of obtaining data for research and development, quality control, acceptance or rejection under specifications, and special purposes. The tests cannot be considered significant for engineering design in applications differing widely from the load-time scale of the standard test. Such applications require additional tests such as impact, creep, and fatigue.

4.4 Before proceeding with this test method, reference should be made to the ASTM specification for the material being tested. Any test specimen preparation, conditioning, dimensions, and testing parameters covered in the materials specification shall take precedence over those mentioned in this test method. If there is no material specification, then the default conditions apply. Table 1 in Classification D4000 lists the ASTM materials standards that currently exist.

5. Apparatus

5.1 *Testing Machine*—Any suitable testing machine capable of control of constant-rate-of-crosshead movement and comprising essentially the following:

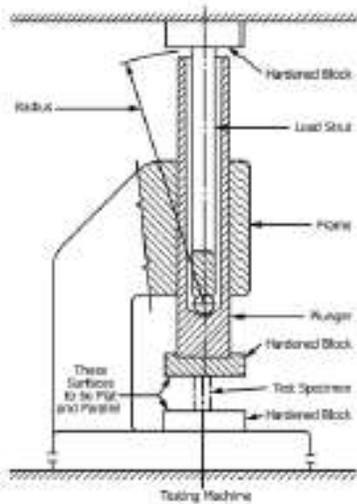
5.1.1 *Drive Mechanism*—A drive mechanism for imparting to the movable cross-head member, a uniform, controlled velocity with respect to the base (fixed member), with this velocity to be regulated as specified in Section 9.

5.1.2 *Load Indicator*—A load-indicating mechanism capable of showing the total compressive load carried by the test specimen. The mechanism shall be essentially free from inertia-lag at the specified rate of testing and shall indicate the load with an accuracy of $\pm 1\%$ of the maximum indicated value of the test (load). The accuracy of the testing machine shall be verified at least once a year in accordance with Practices E4.

5.2 *Compressometer*—A suitable instrument for determining the distance between two fixed points on the test specimen at any time during the test. It is desirable that this instrument automatically record this distance (or any change in it) as a function of the load on the test specimen. The instrument shall be essentially free of inertia-lag at the specified rate of loading and shall conform to the requirements for a Class B-2 extensometer as defined in Practice E83.

Note 3—The requirements for extensometers cited herein apply to compressometers as well.

5.3 *Compression Tool*—A compression tool for applying the load to the test specimen. This tool shall be so constructed that loading is axial within 1:1000 and applied through surfaces that are flat within 0.025 mm (0.001 in.) and parallel to each other in a plane normal to the vertical loading axis. Examples of suitable compression tools are shown in Fig. 1 and Fig. 2.



Note 1—Devices similar to the one illustrated have been successfully used in a number of different laboratories. Details of the device developed at the National Institute for Standards and Technology are given in the paper by Archibison, C. S., and Miller, J. A., "A Subpress for Compressive Tests," National Advisory Committee for Aeronautics, Technical Note No. 912, 1943.

FIG. 1 Subpress for Compression Tests

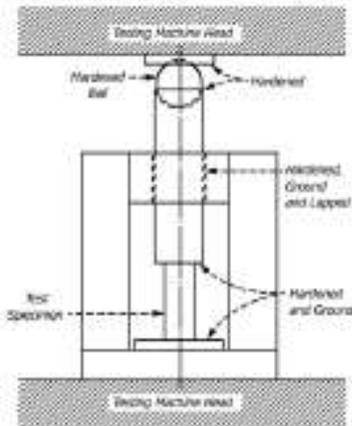


FIG. 2 Compression Tool

5.4 Supporting Jig—A supporting jig for thin specimens is shown in Fig. 3 and Fig. 4.

5.5 Micrometers—Suitable micrometers, reading to 0.01 mm or 0.001 in. for measuring the width, thickness, diameter, and length of the specimens.

6. Test Specimens

6.1 Unless otherwise specified in the materials specifications, the specimens described in 6.2 through 6.8 shall

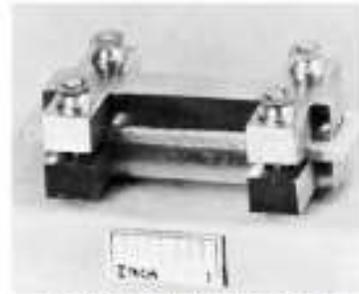


FIG. 3 Support Jig for Thin Specimen

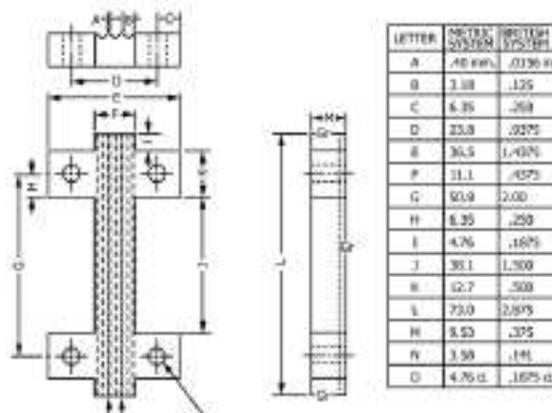
be used. These specimens may be prepared by machining operations from materials in sheet, plate, rod, tube, or similar form, or they may be prepared by compression or injection molding of the material to be tested. All machining operations shall be done carefully so that smooth surfaces result. Great care shall be taken in machining the ends so that smooth, flat parallel surfaces and sharp, clean edges, to within 0.025 mm (0.001 in.) perpendicular to the long axis of the specimen, result.

6.2 The standard test specimen for strength measurements, except as indicated in 6.3 - 6.8, shall be in the form of a right cylinder or prism whose length is twice its principal width or diameter. Preferred specimen sizes are 12.7 by 12.7 by 25.4 mm (0.50 by 0.50 by 1 in.) (prism), or 12.7 mm in diameter by 25.4 mm (cylinder). The standard test specimen for modulus or offset yield measurements shall be of such dimensions that the slenderness ratio is in the range from 11 to 16:1. In this case, preferred specimen sizes are 12.7 by 12.7 by 50.8 mm (0.50 by 0.50 by 2 in.) (prism), or 12.7 mm in diameter by 50.8 mm (cylinder).

6.2.1 When the standard specimens (right cylinders or prisms) cannot be obtained due to the thinness of the material (typically less than 6.4 mm (0.25 in.)), alternative specimens outlined in 6.7.1 and 6.7.2 shall be used.

6.3 For rod, the test specimen for strength measurements shall have a diameter equal to the diameter of the rod and a length twice the diameter of the rod. The test specimen for modulus or offset yield measurements shall have a diameter equal to the diameter of the rod and a length such that slenderness ratio is in the range from 11 to 16:1. If the diameter of the rod is too large to obtain failure due to limitations of the test equipment, specimens outlined in 6.2 shall be machined from the center of the rod.

6.4 For tubes, the test specimen for strength measurements shall have a diameter equal to the diameter of the tube and a length of 25.4 mm (1 in.). This specimen shall be used for tubes with a wall thickness of 1 mm (0.039 in.) or over, to inside diameters of 6.4 mm (0.25 in.) or over, and to outside diameters of 50.8 mm (2.0 in.) or less. If the diameter of the tube is too large to obtain failure due to limitations of the test equipment, specimens outlined in 6.2 shall be machined from the wall of the tube. For crushing-load determinations (at right



NOTE 1—Cold rolled steel.
 NOTE 2—Furnished four steel machine screws and nuts, round head, slotted, length 31.75 mm (1 1/4 in.).
 NOTE 3—Grind surfaces denoted "Gr."

FIG. 4 Support Jig, Details

angles to the longitudinal axis), the specimen size shall be the same, with the diameter becoming the height. The test specimen for modulus or offset yield measurements shall have a diameter equal to the diameter of the tube and a length such that the slenderness ratio is in the range from 11 to 16:1.

6.5 Where it is desired to test conventional high-pressure laminates in the form of sheets, the thickness of which is less than 25.4 mm (1 in.), a pile-up of sheets 12.7 mm square, with a sufficient number of layers to produce a height of approximately 25.4 mm (actual height achievable will be dependent upon individual layer thickness), shall be used for strength measurements. The test specimen for modulus or offset yield measurements shall consist of a pile-up of 12.7 mm square sheets to produce a height such that slenderness ratio is in the range from 11 to 16:1.

6.6 When testing material that may be suspected of anisotropy, duplicate sets of test specimens shall be prepared having their long axis respectively parallel with and normal to the suspected direction of anisotropy.

6.7 Reinforced Plastics, including High-Strength Composites and Highly Orthotropic Laminates—The following specimens shall be used for reinforced materials.

6.7.1 For materials 3.2 mm to 6.4 mm (0.125 in. to 0.25 in.), the specimen used for strength measurements shall consist of a prism having a cross section of 12.7 mm (0.5 in.) by the thickness of the material and a length of 12.7 mm (0.5 in.). (Specimen length may be shortened if buckling is observed). For material greater than 6.4 mm (0.25 in.) in thickness, specimens outlined in 6.2 shall be used. The test specimen for modulus or offset yield measurements shall be of such dimensions that slenderness ratio is in the range from 11 to 16:1 (Note 4).

6.7.2 For materials under 3.2 mm (0.125 in.) thick, or where elastic modulus testing is required and the slenderness ratio does not provide for enough length for attachment of a

compressometer or similar device, a specimen conforming to that shown in Fig. 5 shall be used. The supporting jig shown in Fig. 3 and Fig. 4 shall be used to support the specimen during testing (Note 5).

Note 4—If failure for specimens utilized in 6.7.1 is by delamination rather than by the desirable shear plane fracture, the material may be tested in accordance with 6.7.2.

Note 5—Round-robin tests have established that relatively satisfactory measurements of modulus of elasticity may be obtained by applying a compressometer to the edges of the jig-supported specimen.

6.8 When testing syntactic foam, the standard test specimen shall be in the form of a right cylinder 25.4 mm (1 in.) in diameter by 50.8 mm (2 in.) in length. This specimen is appropriate for both strength and modulus determinations.

7. Conditioning

7.1 Conditioning—Condition the test specimens in accordance with Procedure A of Practice D618 unless otherwise specified by contract or relevant ASTM material specification. Conditioning time is specified as a minimum. Temperature and humidity tolerances shall be in accordance with Section 7 of Practice D618 unless specified differently by contract or material specification.

7.2 Test Conditions—Conduct the tests at the same temperature and humidity used for conditioning with tolerances in accordance with Section 7 of Practice D618 unless otherwise specified by contract or the relevant ASTM material specification.

8. Number of Test Specimens

8.1 At least five specimens shall be tested for each sample in the case of isotropic materials.

8.2 Ten specimens, five normal to and five parallel with the principal axis of anisotropy, shall be tested for each sample in the case of anisotropic materials.

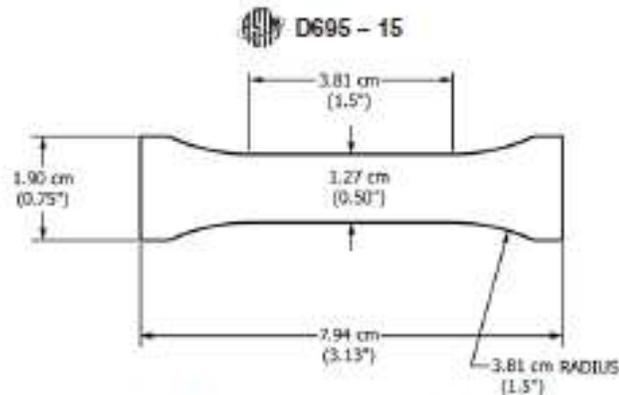


FIG. 5 Compression Test Specimen for Materials Less than 3.2 mm Thick

8.3 Specimens that break at some obvious flaw shall be discarded and retests made, unless such flaws constitute a variable, the effect of which it is desired to study.

9. Speed of Testing

9.1 Speed of testing shall be the relative rate of motion of the grips or test fixtures during the test. Rate of motion of the driven grip or fixture when the machine is running idle may be used if it can be shown that the resulting speed of testing is within the limits of variation allowed.

9.2 The standard speed of testing shall be 1.3 ± 0.3 mm (0.050 \pm 0.010 in.)/min, except as noted in 10.5.4.

10. Procedure

10.1 Measure the width and thickness (or diameter) of the specimen to the nearest 0.025 mm (0.001 in.) at several points along its length. Calculate and record the minimum value of the cross-sectional area. Measure the length of the specimen and record the value.

10.2 Place the test specimen between the surfaces of the compression tool, taking care to align the center line of its long axis with the center line of the plunger and to ensure that the ends of the specimen are parallel with the surface of the compression tool. Adjust the crosshead of the testing machine until it just contacts the top of the compression tool plunger.

Note 6—The compression tool may not be necessary for testing of lower modulus (for example, 700 MPa to 3500 MPa (100,000 psi to 500,000 psi)) material if the loading surfaces are maintained smooth, flat, and parallel to the extent that buckling is not incurred.

10.3 Place thin specimens in the jig (Fig. 3 and Fig. 4) so that they are flush with the base and centered (Note 7). The nuts or screws on the jig shall be finger tight (Note 8). Place the assembly in the compression tool as described in 5.3.

Note 7—A round-robin test, designed to assess the influence of specimen positioning in the supporting jig (that is, flush versus centered mounting), showed no significant effect on compressive strength due to this variable. However, flush mounting of the specimen with the base of the jig is specified for convenience and ease of mounting.⁶

Note 8—A round-robin test on the effect of lateral pressure at the

supporting jig has established that reproducible data can be obtained with the tightness of the jig controlled as indicated.

10.4 If only compressive strength or compressive yield strength, or both, are desired, proceed as follows:

10.4.1 Set the speed control at 1.3 mm/min (0.050 in./min) and start the machine.

10.4.2 Record the maximum load carried by the specimen during the test (usually this will be the load at the moment of rupture).

10.5 If stress-strain data are desired, proceed as follows:

10.5.1 Prepare the compressive strain indicator to directly read strain on the specimen.

10.5.2 Set the speed control at 1.3 mm/min (0.050 in./min) and start the machine.

10.5.3 Record loads and corresponding compressive strain at appropriate intervals of strain or, if the test machine is equipped with an automatic recording device, record the complete load-deformation curve.

10.5.4 After the yield point has been reached, it is allowable to increase the speed from 5 to 6 mm/min (0.20 to 0.25 in./min) and allow the machine to run at this speed until the specimen breaks. This may be done only with relatively ductile materials and on a machine with a weighing system with response rapid enough to produce accurate results.

11. Calculation

11.1 *Compressive Strength*—Calculate the compressive strength by dividing the maximum compressive load carried by the specimen during the test by the original minimum cross-sectional area of the specimen. Express the result in megapascals or pounds-force per square inch and report to three significant figures.

11.2 *Compressive Yield Strength*—Calculate the compressive yield strength by dividing the load carried by the specimen at the yield point by the original minimum cross-sectional area of the specimen. Express the result in megapascals or pounds-force per square inch and report to three significant figures.

11.3 *Offset Yield Strength*—Calculate the offset yield strength by the method referred to in 3.2.11.

11.4 *Modulus of Elasticity*—Calculate the modulus of elasticity by drawing a tangent to the initial linear portion of the

⁶ Supporting data have been filed at ASTM International Headquarters and may be obtained by requesting Research Report RR:D20-1061.

**TABLE 1 Precision, Compressive Strength
(Values in Units of Megapascals)**

Material	Average	S_w^a	S_{bw}^b	r^c	R^d
Acetal	100	1.1	2.1	3.1	5.9
Polystyrene	100	1.4	2.5	3.9	8.8
Linear-illed phenolic	150	3.7	7.5	10.4	21.0

^a S_w is the within-laboratory standard deviation for the indicated material. It is obtained by pooling the within-laboratory standard deviations of the test results from all of the participating laboratories:

$$S_w = [(S_{w1})^2 + (S_{w2})^2 + \dots + (S_{wn})^2/n]^{1/2}$$

^b S_{bw} is the between-laboratories reproducibility, expressed as a standard deviation, for the indicated material.

^c r is the within-laboratory repeatability limit, $r = 2.8 \times S_w$.

^d R is the between-laboratory reproducibility limit, $R = 2.8 \times S_{bw}$.

**TABLE 2 Precision, Compressive Modulus
(Values in Units of Gigapascals)**

Material	Average	S_w^a	S_{bw}^b	r^c	R^d
Acetal	3.20	0.14	0.25	0.39	0.70
Polystyrene	3.66	0.07	0.74	0.20	2.07
Linear-illed phenolic	6.50	0.23	0.90	0.64	2.52

^a S_w is the within-laboratory standard deviation for the indicated material. It is obtained by pooling the within-laboratory standard deviations of the test results from all of the participating laboratories:

$$S_w = [(S_{w1})^2 + (S_{w2})^2 + \dots + (S_{wn})^2/n]^{1/2}$$

^b S_{bw} is the between-laboratories reproducibility, expressed as a standard deviation, for the indicated material.

^c r is the within-laboratory repeatability limit, $r = 2.8 \times S_w$.

^d R is the between-laboratory reproducibility limit, $R = 2.8 \times S_{bw}$.

load deformation curve, selecting any point on this straight line portion, and dividing the compressive stress represented by this point by the corresponding strain, measure from the point where the extended tangent line intersects the strain-axis. Express the result in gigapascals or pounds-force per square inch and report to three significant figures (see Annex A1).

11.5 For each series of tests, calculate to three significant figures the arithmetic mean of all values obtained and report as the "average value" for the particular property in question.

11.6 Calculate the standard deviation (estimated) as follows and report to two significant figures:

$$s = \sqrt{(\sum X^2 - n\bar{X}^2)/(n - 1)} \quad (2)$$

where:

- s = estimated standard deviation,
- X = value of single observation,
- n = number of observations, and
- \bar{X} = arithmetic mean of the set of observations.

Note 9—The method for determining the offset compressive yield strength is similar to that described in the Annex of Test Method D638.

12. Report

12.1 Report the following information:

- 12.1.1 Complete identification of the material tested, including type, source, manufacturer's code number, form, principal dimensions, previous history, etc.,
- 12.1.2 Method of preparing test specimens,
- 12.1.3 Type of test specimen and dimensions,
- 12.1.4 Conditioning procedure used,
- 12.1.5 Atmospheric conditions in test room,
- 12.1.6 Number of specimens tested,
- 12.1.7 Speed of testing,
- 12.1.8 Compressive strength, average value, and standard deviation,
- 12.1.9 Compressive yield strength and offset yield strength average value, and standard deviation, when of interest,
- 12.1.10 Modulus of elasticity in compression (if required), average value, standard deviation,
- 12.1.11 Date of test, and
- 12.1.12 Date of test method.

13. Precision and Bias

13.1 Table 1 and Table 2 are based on a round-robin test

conducted in 1987 in accordance with Practice E691, involving three materials tested by six laboratories for Test Method D695M. Since the test parameters overlap within tolerances and the test values are normalized, the same data are used for both test methods. For each material, all of the samples were prepared at one source. Each test result was the average of five individual determinations. Each laboratory obtained two test results for each material. (Warning—The following explanations of r and R (13.2 - 13.2.3) are only intended to present a meaningful way of considering the approximate precision of this test method. The data in Table 1 and Table 2 should not be rigorously applied to acceptance or rejection of material, as these data apply only to the materials tested in the round robin and are unlikely to be rigorously representative of other lots, formulations, conditions, materials, or laboratories. Users of this test method should apply the principles outlined in Practice E691 to generate data specific to their laboratory and materials or between specific laboratories. The principles of 13.2 - 13.2.3 would then be valid for such data.)

13.2 Concept of r and R in Table 1 and Table 2—If $S(r)$ and $S(R)$ have been calculated from a large enough body of data, and for test results that were averages from testing of five specimens for each test result, then:

13.2.1 Repeatability—Two test results obtained within one laboratory shall be judged not equivalent if they differ by more than the " r " for that material. " r " is the interval representing the critical difference between two test results for the same material, obtained by the same operator using the same equipment on the same day in the same laboratory.

13.2.2 Reproducibility, R —Two test results obtained by different laboratories shall be judged not equivalent if they differ by more than the " R " value for that material. " R " is the interval representing the critical difference between the two test results for the same material, obtained by different operators using different equipment in different laboratories.

13.2.3 Any judgement in accordance with 13.2.1 and 13.2.2 would have an approximate 95 % (0.95) probability of being correct.

13.3 There are no recognized standards by which to estimate the bias of this test method.

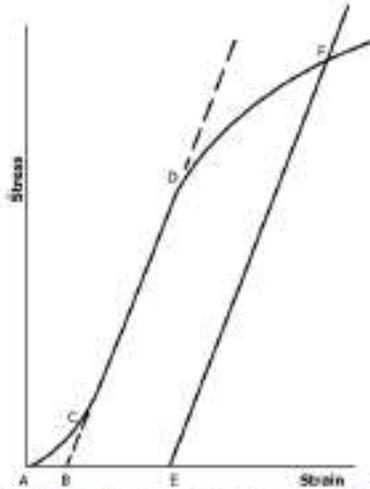
14. Keywords

14.1 compressive properties; compressive strength; modulus of elasticity; plastics

ANNEX

(Mandatory Information)

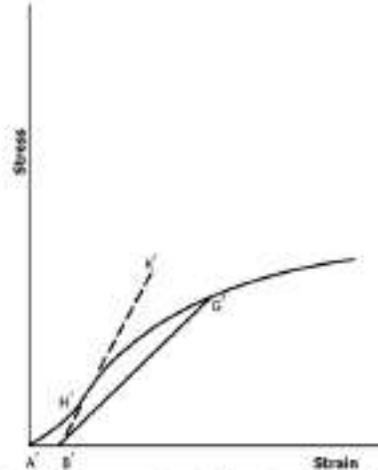
A1. TOE COMPENSATION



Note 1—Some chart recorders plot the mirror image of this graph.
 FIG. A1.1 Material with Hookean Region

A1.1 In a typical stress-strain curve (Fig. A1.1) there is a toe region, AC, that does not represent a property of the material. It is an artifact caused by a takeup of slack, and alignment or seating of the specimen. In order to obtain correct values of such parameters as modulus, strain, and offset yield point, this artifact must be compensated for to give the corrected zero point on the strain or extension axis.

A1.2 In the case of a material exhibiting a region of Hookean (linear) behavior (Fig. A1.1), a continuation of the linear (CD) region of the curve is constructed through the zero-stress axis. This intersection (B) is the corrected zero-strain point from which all extensions or strains must be measured, including the yield offset (BE), if applicable. The



Note 1—Some chart recorders plot the mirror image of this graph.
 FIG. A1.2 Material with No Hookean Region

elastic modulus can be determined by dividing the stress at any point along the line CD (or its extension) by the strain at the same point (measured from Point B, defined as zero-strain).

A1.3 In the case of a material that does not exhibit any linear region (Fig. A1.2), the same kind of toe correction of the zero-strain point can be made by constructing a tangent to the maximum slope at the inflection point (H). This is extended to intersect the strain axis at Point B, the corrected zero-strain point. Using Point B as zero strain, the stress at any point (G) on the curve can be divided by the strain at that point to obtain a secant modulus (slope of line BG). For those materials with no linear region, any attempt to use the tangent through the inflection point as a basis for determination of an offset yield point may result in unacceptable error.

SUMMARY OF CHANGES

Committee D20 has identified the location of selected changes to this standard since the last issue (D695 - 10) that may impact the use of this standard. (September 1, 2015)

- | | |
|--|---|
| <p>(7) Added Test Method D6641/D6641M to Note 1 and 2.1.</p> <p>(2) Subsection 3.2.14—Added calculation for radius of gyration for tubes to determine slenderness ratio.</p> <p>(3) Subsection 5.5—Added “diameter” to one of the dimensions that can be measured.</p> <p>(4) Subsection 6.1—Only referred to 6.2 – 6.7. This was updated to include 6.2 – 6.8.</p> <p>(5) Subsection 6.2—Clarified specimens to be used for strength and modulus, and changed 6.3 - 6.7 to 6.3 - 6.8.</p> <p>(6) Added subsection 6.2.1.</p> <p>(7) Added wording to clarify specimen dimension selection for strength and modulus to 6.3, 6.4, 6.5, 6.7, 6.7.1, and 6.8.</p> <p>(8) Removed Note 4 and placed it in the body of 6.4 as it was not appropriate as a note.</p> | <p>(9) Renumbered subsequent notes since Note 4 was removed.</p> <p>(10) Subsection 10.1—Added diameter as a dimension that can be measured and corrected the unit conversion from mm to inch.</p> <p>(11) Subsection 10.5.1—Revised the wording so the interpretation of “attach extensometer” was not misconstrued as only being able to use a contact extensometer. The wording now implies any type of extensometer (contact or noncontact) can be used.</p> <p>(12) Subsection 10.5.4—Revised the wording “may be desirable” to “is allowable.”</p> <p>(13) Subsection 11.6—The standard deviation calculation referenced number “(1)”; this was changed to “(2)” since the Radius of Gyration calculation for tubes is now “(1).”</p> |
|--|---|

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address and web site.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19380-2900, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9882 (phone), 610-832-9882 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org). Permission rights to photocopy the standard may also be secured from the Copyright Clearance Center, 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923, Tel: (978) 750-8400; http://www.copyright.com/.

ANEXOS B:
Traducción Norma ASTM
D695:2015

Designación: D695 - 15

Método de prueba estándar para Propiedades de Compresión de Plásticos Rígidos¹

Esta norma se emite con la designación fija D695; el número inmediatamente posterior a la designación indica el año de adopción original o, en el caso de revisión, el año de la última revisión. Un número entre paréntesis indica el año de la última reaprobación. UN el superíndice épsilon (ϵ) indica un cambio editorial desde la última revisión o reaprobación.

Este estándar ha sido aprobado para su uso por agencias del Departamento de Defensa de EE. UU.

1 Alcance*

1.1 Este método de prueba cubre la determinación de la mecánica propiedades de rígido reforzado y no reforzado plásticos, incluidos los compuestos de alto módulo, cuando se cargan en compresión a velocidades uniformes relativamente bajas de esfuerzo o cargando. Se emplean probetas de forma estándar. Este procedimiento es aplicable para un módulo compuesto hasta e incluyendo 41,370 MPa (6,000,000 psi).

1.2 Los valores establecidos en las unidades SI deben considerarse como estándar. Los valores entre paréntesis son solo para información.

NOTA 1-Para propiedades de compresión de compuestos de matriz de resina reforzados con continuo orientado, discontinuo o cruzado refuerzos, las pruebas se pueden hacer de acuerdo con el Método de prueba D3410 / D3410M o D6641 / D6641M.

1.3 Esta norma no pretende abordar todas las preocupaciones de seguridad, si las hay, asociadas con su uso. Es la responsabilidad del usuario de esta norma para establecer prácticas de seguridad y salud y determinar la aplicabilidad de las limitaciones regulatorias antes del uso. Una precaución específica declaración se da en 13.1.

NOTA 2: este estándar es equivalente a ISO 604.

2. Documentos referenciados

2.1 Estándares ASTM:²

D618 Práctica para acondicionar plásticos para pruebas

D638 Método de prueba para propiedades de tracción de plásticos

D883 Terminología relacionada con plásticos

D3410 / D3410M Método de prueba para propiedades compresivas de Materiales compuestos de la matriz de polímeros sin soporte Sección de calibre por corte de cizalla Sistema de clasificación

D4000 para especificar materiales plásticos

D5947 Métodos de prueba para las dimensiones físicas de Solid Muestras de plásticos
Método de prueba

D6641 / D6641M para propiedades compresivas de Materiales compuestos de la matriz de polímeros con una combinación Accesorio de prueba de compresión de carga (CLC)

E4 Prácticas para la verificación de fuerza de máquinas de prueba

E83 Práctica para la verificación y clasificación del extensómetro Sistemas

E691 Práctica para realizar un estudio interlaboratorios para Determine la precisión de un método de prueba

2.2 Norma ISO: ³

ISO 604 Plastics-Determination of Compressive Properties

¹ Este método de prueba está bajo la jurisdicción del Comité D20 de ASTM sobre Plásticos y es responsabilidad directa del Subcomité D20.10 sobre Propiedades mecánicas. Edición actual aprobada el 1 de septiembre de 2015. Publicado en septiembre de 2015. Originalmente aprobado en 1942. Última edición anterior aprobada en 2010 como D695 - 10. DOI: 10.1520 / D0695-15.

² Para las normas ASTM referenciadas, visite el sitio web de ASTM, www.astm.org, o comuníquese con el Servicio al Cliente de ASTM a service@astm.org. Para el Libro Anual de ASTM Información sobre el volumen de normas, consulte la página Resumen de documentos de la norma en el sitio web de ASTM.

³ Disponible de American National Standards Institute (ANSI), 25 W. 43rd St., 4th Floor, Nueva York, NY 10036, <http://www.ansi.org>.

3. Terminología

3.1 General: las definiciones de los plásticos utilizados en esta prueba método están de acuerdo con la terminología D883 a menos indicado de otra manera.

3.2 Definiciones:

3.2.1 deformación por compresión: la disminución de la longitud producida en la longitud del calibre de la muestra de prueba por una compresión carga. Se expresa en unidades de longitud.

3.2.2 deformación por compresión: la relación de deformación por compresión a la longitud del instrumento de la muestra de prueba, es decir, la cambio en la longitud por unidad de longitud original a lo largo de la longitud eje. Se expresa como una relación adimensional.

3.2.3 resistencia a la compresión: el máximo de compresión estrés (nominal) transportado por una muestra de prueba durante una compresión prueba. Puede o no ser el estrés de compresión (nominal) transportado por la muestra en el momento de la ruptura.

3.2.4 resistencia a la compresión en caso de falla (nominal) -la compresión estrés (nominal) sostenido en el momento del fracaso de la muestra de prueba si se rompe.

3.2.5 esfuerzo de compresión (nominal) -la carga de compresión por unidad de área de sección transversal mínima original dentro del medidor límites, llevados por la muestra de prueba en cualquier momento dado. Se expresa en fuerza por unidad de área.

3.2.5.1 Discusión-La expresión de propiedades de compresión en términos de la sección transversal mínima original es casi universalmente utilizado. En algunas circunstancias, la compresión las propiedades se han expresado por unidad de cruz prevalecte sección. Estas propiedades se llaman propiedades de compresión "verdaderas".

3.2.6 diagrama de tensión-deformación de compresión-un diagrama en qué valores de tensión de compresión se trazan como ordenadas contra valores correspondientes de deformación compresiva como abscisas.

3.2.7 límite elástico de compresión: el primer punto en el tren de tensión diagrama en el que se produce un aumento en la tensión sin un aumento en el estrés

3.2.8 límite elástico de compresión, normalmente el esfuerzo en el límite elástico (ver también sección 3.2.11).

3.2.9 carga de aplastamiento: la fuerza de compresión máxima aplicada a la muestra, en las condiciones de prueba, que produce un grado de falla designado.

3.2.10 módulos de elasticidad-la relación de estrés (nominal) a tensión correspondiente por debajo del límite proporcional de un material. Se expresa en fuerza por unidad de área según el promedio inicial área de sección transversal.

3.2.11 límite de elasticidad de compresión compensado: el esfuerzo al que la curva esfuerzo-deformación se aleja de la linealidad por un porcentaje de deformación (offset). Deformación compresiva

3.2.12 por ciento: la deformación por compresión de un espécimen de prueba expresado como un porcentaje de la original longitud calibrada.

3.2.13 límite proporcional: el mayor estrés que un material es capaz de sostenerse sin ninguna desviación de la proporcionalidad de estrés a la tensión (ley de Hooke). Se expresa en fuerza por unidad de área.

3.2.14 relación de esbeltez: la relación entre la longitud de una columna de sección transversal uniforme a su menor radio de giro. Por especímenes de sección transversal rectangular uniforme, el radio de la rotación es 0.289 veces la dimensión transversal más pequeña. Para muestras de sección transversal circular uniforme, el radio de la rotación es

0.250 veces el diámetro. Para muestras de tubular sección transversal, el radio de giro se calcula de la siguiente manera:

$$R_g = \frac{\sqrt{D^2 + d^2}}{4}$$

(1)

Dónde:

R_g = radio de giro,

D = diámetro exterior, y

d = diámetro interior.

4. Significado y uso

4.1 Las pruebas de compresión proporcionan información sobre la compresión propiedades de los plásticos cuando se emplean en condiciones aproximándose a aquellos bajo los cuales se realizan las pruebas.

4.2 Las propiedades de compresión incluyen el módulo de elasticidad, cedencia de fluencia, deformación más allá del punto de fluencia y compresión fuerza (a menos que el material simplemente se aplana, pero no fractura). Los materiales que poseen un orden bajo de ductilidad pueden no exhibir un límite elástico. En el caso de un material que falla en compresión por una fractura desgarradora, la resistencia a la compresión tiene un valor muy definido. En el caso de un material que no falla en la compresión por una fractura que se rompe, la compresión la fuerza es arbitraria dependiendo del grado de distorsión que se considera que indica la falla completa de la material. Muchos materiales plásticos continuarán deformándose en compresión hasta que se produzca un disco plano, la compresión estrés (nominal) aumentando constantemente en el proceso, sin fractura bien definida que ocurre. La fuerza compresiva puede no tienen ningún significado real en tales casos.

4.3 Las pruebas de compresión proporcionan un método estándar de obtención datos para investigación y desarrollo, control de calidad, aceptación o rechazo bajo especificaciones y propósitos especiales. Las pruebas no pueden considerarse significativas para la ingeniería diseño en aplicaciones que difieren ampliamente de la escala de tiempo de carga de la prueba estándar. Tales aplicaciones requieren pruebas adicionales como impacto, fluencia y fatiga.

4.4 Antes de continuar con este método de prueba, referencia debe hacerse a la especificación ASTM para el material siendo probado. Cualquier preparación de muestra de prueba, acondicionamiento, dimensiones y parámetros de prueba cubiertos en los materiales especificación tendrá prioridad sobre las mencionadas en este método de prueba. Si no hay

especificaciones de materiales, entonces él se aplica las condiciones predeterminadas Tabla 1 en las listas de la Clasificación D4000 los estándares de materiales de ASTM que existen actualmente.

5. Aparato

5.1 Máquina de prueba: cualquier máquina de prueba apta de control del movimiento de velocidad constante de cruceta y que comprende esencialmente lo siguiente:

5.1.1 Mecanismo de accionamiento: un mecanismo de transmisión para impartir al miembro movable de la cruceta, un uniforme, controlado velocidad con respecto a la base (miembro fijo), con esto velocidad a ser regulada como se especifica en la Sección 9.

5.1.2 Indicador de carga: un mecanismo indicador de carga capaz de mostrar la carga de compresión total transportada por la prueba muestra. El mecanismo estará esencialmente libre de retraso de inercia a la velocidad de prueba especificada e indicará el cargar con una precisión del $\pm 1\%$ del máximo indicado valor de la prueba (carga). La precisión de la máquina de prueba se verificará al menos una vez al año de acuerdo con Prácticas E4.

5.2 Compresómetro: un instrumento adecuado para determinar la distancia entre dos puntos fijos en la muestra de prueba en cualquier momento durante la prueba. Es deseable que este instrumento registra automáticamente esta distancia (o cualquier cambio en ella) como una función de la carga en la muestra de prueba. El instrumento deberá estar esencialmente libre de retraso de inercia a la velocidad de carga especificada y deberá cumplir con los requisitos para una Clase B-2 extensómetro como se define en la Práctica E83.

NOTA 3: los requisitos para los extensómetros citados en este documento se aplican a compresómetros también.

5.3 Herramienta de compresión-Una herramienta de compresión para aplicar el cargar a la muestra de prueba. Esta herramienta debe estar construida de tal manera la carga es axial dentro de 1: 1000 y se aplica a través de superficies que son planos dentro de 0.025 mm (0.001 in) y paralelos entre sí en un plano normal al eje de carga vertical. Ejemplos de herramientas de compresión adecuadas se muestran en la Fig. 1 y la Fig. 2.

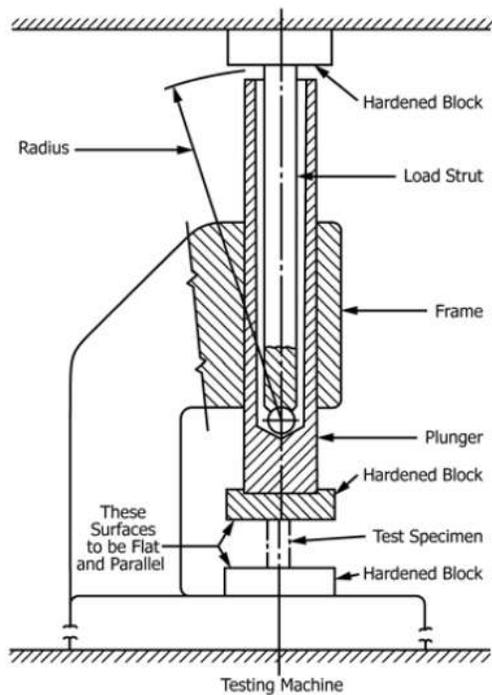


Fig. 1 Supresión para pruebas de compresión

NOTA 1: dispositivos similares al ilustrado han sido exitosos utilizado en una serie de diferentes laboratorios. Detalles del dispositivo desarrollado en el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología se dan en el papel de Aitchinson, C. S. y Miller, J. A., "A Supresión para pruebas de compresión, "Comité Consultivo Nacional de Aeronáutica, Nota Técnica No. 912, 1943.

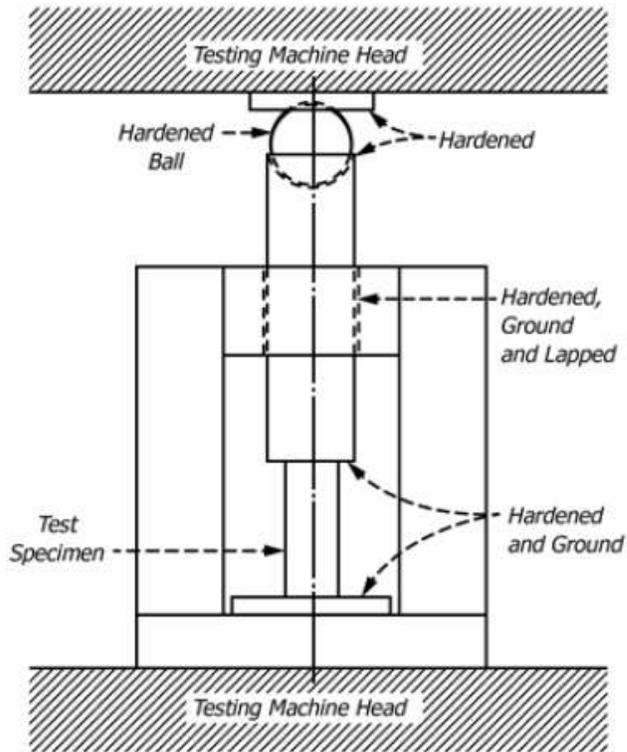


Fig. 2 Herramienta de compresión

5.4 Soporte de plantilla de soporte Jig-A para muestras delgadas se muestra en la Fig. 3 y la Fig. 4. Micrómetros adecuados de 5.5 micrómetros, con una lectura de 0,01 mm o 0.001 in para medir el ancho, espesor, diámetro, y longitud de los especímenes.

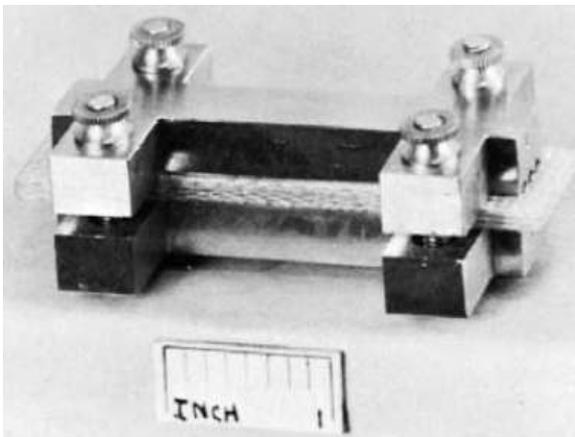


Fig. 3 Plantilla de soporte para muestras finas

6. Especímenes de prueba

6.1 A menos que se especifique lo contrario en las especificaciones de materiales, las muestras descritas en 6.2 a 6.8 deberán ser usadas. Estas muestras pueden prepararse mediante mecanizado operaciones de materiales en hoja, placa, varilla, tubo o similar forma, o pueden prepararse por compresión o inyección moldeado del material a probar. Todas las operaciones de mecanizado se deben hacer con cuidado para que resulten superficies lisas. Estupendo se debe tener cuidado en el mecanizado de los extremos para que liso, plano superficies paralelas y bordes filosos y limpios, dentro de 0.025 mm (0.001 in) perpendicular al eje largo de la muestra, resultado.

6.2 La muestra de prueba estándar para mediciones de resistencia, salvo lo indicado en 6.3 - 6.8, tendrá la forma de un derecho cilindro o prisma cuya longitud es dos veces su ancho principal o diámetro. Tamaños de muestra preferidos son 12.7 por 12.7 por 25.4 mm (0,50 por 0,50 por 1 pulg.) (prisma), o 12,7 mm de diámetro por 25,4 mm (cilindro). La muestra de prueba estándar para el módulo o las medidas de rendimiento de compensación deberán ser de tales dimensiones que la relación de esbeltez está en el rango de 11 a 16: 1. En este caso, los tamaños de muestra preferidos son 12.7 por 12.7 por 50.8 mm (0.50 por 0.50 por 2 pulg.) (Prisma), o 12.7 mm de diámetro por 50.8 mm (cilindro).

6.2.1 Cuando las muestras estándar (cilindros derechos o prismas) no se puede obtener debido a la delgadez del material (típicamente menos de 6.4 mm (0.25 in)), especímenes alternativos delineado en 6.7.1 y 6.7.2 será utilizado.

6.3 Para varilla, la muestra de prueba para mediciones de fuerza tendrá un diámetro igual al diámetro de la varilla y una longitud dos veces el diámetro de la varilla. La muestra de prueba para las medidas de rendimiento de módulo o desviación tendrán un diámetro igual al diámetro de la varilla y una longitud tal que la relación de esbeltez está en el rango de 11 a 16: 1. Si el diámetro de la varilla es demasiado grande para obtener la falla debido a las limitaciones del equipo de prueba, las muestras descritas en 6.2 se mecanizarán desde el centro de la varilla.

6.4 Para tubos, la muestra de prueba para mediciones de resistencia tendrá un diámetro igual al diámetro del tubo y una longitud de 25,4 mm (1 pulg). Esta muestra se usará para tubos con un grosor de pared de 1 mm (0.039 pulg.) o más, hacia adentro diámetros de 6.4 mm (0.25 in.) o más, y al exterior diámetros de 50.8 mm (2.0 in) o menos. Si el diámetro de la el tubo es demasiado grande para obtener una falla debido a las limitaciones de la prueba equipo, las muestras descritas en 6.2 se mecanizarán desde la pared del tubo. Para determinaciones de carga de trituración (a la derecha ángulos al eje longitudinal), el tamaño del espécimen será lo mismo, con el diámetro convirtiéndose en la altura. La muestra de prueba para el módulo o las medidas de rendimiento de compensación tendrán un diámetro igual al diámetro del tubo y una longitud tal que la relación de esbeltez está en el rango de 11 a 16: 1.

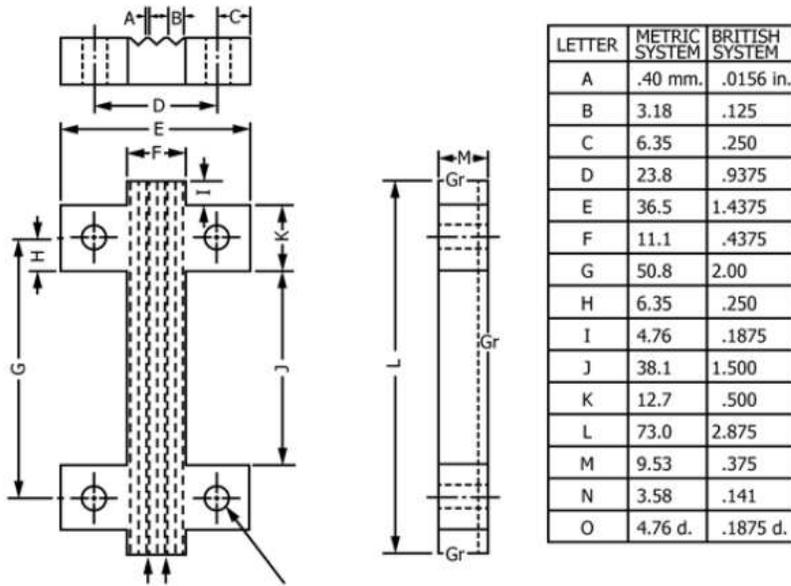


Fig. 4 Detalles de la plantilla de soporte

NOTA 1: acero laminado en frío.

NOTA 2: cuatro tornillos y tuercas mecanizados de acero, cabeza redonda, ranurados, longitud 31,75 mm (1 1/4 in).

NOTA 3: superficies de molienda indicadas como "Gr".

6.5 Donde se desea probar alta presión convencional laminados en forma de hojas, cuyo espesor es menor de 25,4 mm (1 pulgada), una acumulación de hojas de 12,7 mm cuadrados, con un número suficiente de capas para producir una altura de aproximadamente 25,4 mm (la altura real alcanzable dependerá sobre el espesor de la capa individual), se utilizará para la fuerza mediciones. La muestra de prueba para el módulo o el rendimiento de compensación las medidas consistirán en un apilamiento de 12,7 mm cuadrados hojas para producir una altura tal que la relación de esbeltez está en el rango de 11 a 16: 1.

6.6 Cuando se prueba material que puede sospecharse anisotropía, se prepararán conjuntos duplicados de muestras de prueba teniendo sus ejes largos respectivamente paralelos y normales a la dirección sospechada de anisotropy.

6.7 Plásticos reforzados, incluidos los compuestos de alta resistencia y laminados altamente ortotrópicos: los siguientes especímenes se usará para materiales reforzados.

6.7.1 Para materiales de 3.2 mm a 6.4 mm (0.125 in. A 0.25 in.), la muestra utilizada para las mediciones de resistencia consistirá en un prisma con una sección transversal de 12,7 mm (0,5 pulg.) por espesor del material y una longitud de 12.7 mm (0.5 in). (La longitud de la muestra puede acortarse si se observa pandeo). Para material de más de 6.4 mm (0.25 in) de espesor, se usarán las muestras descritas en 6.2. La muestra de prueba para las medidas de

rendimiento del módulo o desviación deberán ser de tales dimensiones esa relación de esbeltez está en el rango de 11 a 16: 1(Nota 4).

6.7.2 Para materiales de menos de 3.2 mm (0.125 in) de espesor, o donde se requiere prueba de módulo elástico y la relación de esbeltez no proporciona suficiente longitud para la fijación de un compresómetro o dispositivo similar, un espécimen que se ajuste a que se muestra en la Fig. 5 se utilizará. La plantilla de soporte que se muestra en La Fig. 3 y la Fig. 4 se usarán para sostener la muestra durante prueba (Nota 5).

NOTA 4-Si la falla para las muestras utilizadas en 6.7.1 es por de laminación más que por la deseable fractura del plano de corte, el material puede ser probado de acuerdo con 6.7.2.

NOTA 5: las pruebas Round-robin han establecido que es relativamente satisfactorio las medidas del módulo de elasticidad pueden obtenerse aplicando un compresómetro a los bordes de la muestra soportada por jig.

6.8 Cuando se prueba espuma sintáctica, la muestra de prueba estándar deberá tener la forma de un cilindro derecho de 25,4 mm (1 in) en diámetro por 50.8 mm (2 in) de longitud. Este espécimen es apropiado para las determinaciones de fuerza y módulo.

7. acondicionamiento

7.1 Acondicionamiento: acondicione los especímenes de prueba de acuerdo con el Procedimiento A de la Práctica D618 a menos que especificado por contrato o especificación de material relevante de ASTM. El tiempo de acondicionamiento se especifica como mínimo. Temperatura y las tolerancias de humedad deben estar de acuerdo con la Sección 7 de Practique D618 a menos que se especifique lo contrario por contrato o Especificación de material.

7.2 Condiciones de prueba: realice las pruebas a la misma temperatura y la humedad utilizada para el acondicionamiento con tolerancias en de acuerdo con la Sección 7 de la Práctica D618 a menos que especificado por contrato o la especificación de material relevante de ASTM.

8. Número de muestras de prueba

8.1 Se analizarán al menos cinco especímenes para cada muestra en el caso de los materiales isotrópicos.

8.2 Diez especímenes, cinco normales y cinco paralelos con el eje principal de la anisotropía, se probará para cada muestra en el caso de materiales anisotrópicos.

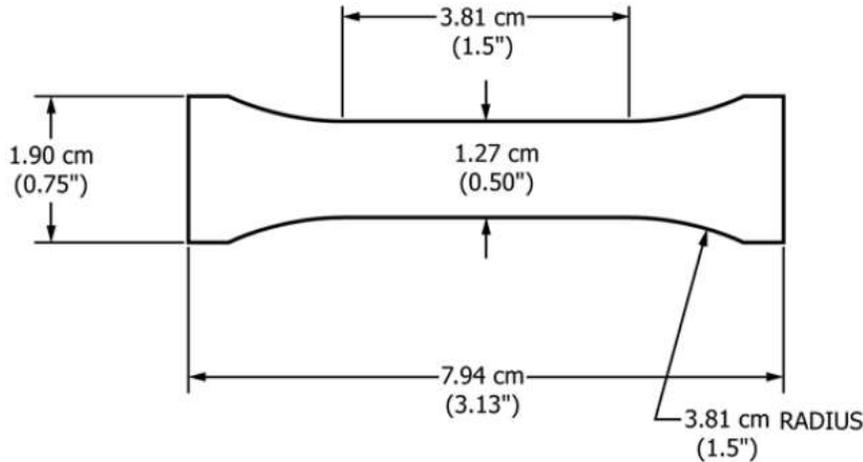


Fig. 5 Muestra de prueba de compresión para materiales de menos de 3,2 mm de espesor

8.3 Las muestras que se rompen en algún defecto obvio serán descartado y vuelto a hacer, a menos que tales defectos constituyan variable, el efecto del cual se desea estudiar.

9. Velocidad de prueba

9.1 La velocidad de la prueba será la velocidad relativa de movimiento de los agarres o accesorios de prueba durante la prueba. Velocidad de movimiento de la empuñadura o accesorio accionado cuando la máquina está funcionando inactiva puede ser utilizada si se puede demostrar que la velocidad de prueba resultante es dentro de los límites de variación permitidos.

9.2 La velocidad estándar de prueba será de 1.3 ± 0.3 mm (0.050 ± 0.010 pulg.) / Min, excepto como se indica en 10.5.4.

10. Procedimiento

10.1 Mida el ancho y el espesor (o diámetro) del espécimen con una precisión de 0.025 mm (0.001 in) en varios puntos a lo largo de su longitud. Calcule y registre el valor mínimo del área de sección transversal. Mida la longitud de la muestra y registra el valor

10.2 Coloque la muestra de prueba entre las superficies de la herramienta de compresión, teniendo cuidado de alinear la línea central de su largo eje con la línea central del émbolo y para asegurar que los extremos del espécimen son paralelos a la superficie de la herramienta de compresión. Ajuste la cruceta de la máquina de prueba hasta que solo contacte la parte superior del émbolo de la herramienta de compresión.

NOTA 6-La herramienta de compresión puede no ser necesaria para la prueba de módulo inferior (por ejemplo, 700 MPa a 3500 MPa (100,000 psi a 500,000 psi)) si las superficies de carga se mantienen lisas, planas, y paralelo en la medida en que no se incurra en pandeo.

10.3 Coloque muestras delgadas en la plantilla (Fig. 3 y Fig. 4) para que estén alineados con la base y centrados (Nota 7). Las nueces o los tornillos en la plantilla deben apretarse con los dedos (Nota 8). Colocar el ensamble en la herramienta de compresión como se describe en 5.3.

NOTA 7-Una prueba round-robin, diseñada para evaluar la influencia de posicionamiento de la muestra en la plantilla de soporte (es decir, al ras contra centrado montaje), no mostró un efecto significativo sobre la resistencia a la compresión debido a esta variable. Sin embargo, el montaje empotrado de la muestra con la base de la plantilla se especifica por conveniencia y facilidad de montaje.⁴

NOTA 8-Una prueba round-robin sobre el efecto de la presión lateral en el la plantilla de soporte ha establecido que se pueden obtener datos reproducibles con la rigidez de la plantilla controlada como se indica.

⁴ Los datos de respaldo se han archivado en la sede central de ASTM International y pueden obtenerse solicitando el Informe de Investigación RR: D20-1061.

10.4 Si solo resistencia a la compresión o rendimiento de compresión fuerza, o ambos, son deseados, proceda de la siguiente manera:

10.4.1 Configure el control de velocidad a 1.3 mm / min (0.050 in./min) y enciende la máquina.

10.4.2 Registre la carga máxima transportada por la muestra durante la prueba (generalmente esta será la carga en el momento de ruptura).

10.5 Si se desean datos de tensión-deformación, proceda de la siguiente manera:

10.5.1 Prepare el indicador de tensión de compresión directamente leer la tensión en la muestra.

10.5.2 Ajuste el control de velocidad a 1.3 mm / min (0.050 in./min) y enciende la máquina.

10.5.3 Grabar las cargas y la tensión de compresión correspondiente a intervalos apropiados de tensión o, si la máquina de prueba es equipada con un dispositivo de grabación automático, registre completar la curva de carga-deformación.

10.5.4 Después de alcanzar el punto de fluencia, es permisible para aumentar la velocidad de 5 a 6 mm / min (0,20 a 0,25 pulg./min) y permita que la máquina funcione a esta velocidad hasta que la muestra se rompe Esto puede hacerse solo con materiales relativamente dúctiles y en una máquina con un sistema de pesaje con respuesta rápida lo suficiente como para producir resultados precisos.

11. Cálculo

11.1 Resistencia a la compresión: calcule la compresión fuerza dividiendo la carga máxima de compresión transportada por la muestra durante la prueba por el corte transversal mínimo original área del espécimen. Expresé el resultado en megapascuales o libras-fuerza por pulgada cuadrada e informar a tres personajes importantes.

11.2 Intensidad de rendimiento de compresión: calcule la compresión límite de elasticidad dividiendo la carga transportada por la muestra en el punto de fluencia por el área de sección transversal mínima original de la muestra Expresé el resultado en megapascuales o libras esterlinas por pulgada cuadrada e informar a tres figuras significativas.

11.3 Intensidad del rendimiento de compensación: calcule el rendimiento de compensación resistencia mediante el método mencionado en 3.2.11.

11.4 Módulo de elasticidad: calcule el módulo de elasticidad dibujando una tangente a la porción lineal inicial de la carga la curva de deformación, seleccionando cualquier punto en esta línea recta porción, y dividiendo el esfuerzo de compresión representado por este señalar por la tensión correspondiente, medir desde el punto donde la línea tangente extendida se cruza con el eje de deformación. Expresé el resultado en gigapascuales o libras-fuerza por casilla pulgada e informar a tres cifras significativas (ver Anexo A1).

TABLA 1 Precisión, resistencia a la compresión

(Values in Units of Megapascals)

Material	Average	S_r^A	S_R^B	r^C	R^D
Acetal	100	1.1	2.1	3.1	5.9
Polystyrene	106	1.4	3.5	3.9	9.8
Linen-filled phenolic	158	3.7	7.5	10.4	21.0

^A S_r es la desviación estándar dentro del laboratorio para el material indicado. Es obtenido agrupando las desviaciones estándar dentro del laboratorio de los resultados de la prueba de todos los laboratorios participantes:

$$S_r = \left[[(S_1)^2 + (S_2)^2 + \dots \dots + (S_n)^2] / n \right]^{1/2}$$

^B S_R es la reproducibilidad entre laboratorios, expresada como una estándar desviación, para el material indicado.

^C r es el límite de repetibilidad dentro del laboratorio, $r = 2.8 \times S_r$.

^D R es el límite de reproducibilidad entre laboratorios, $R = 2.8 \times S_R$.

11.5 Para cada serie de pruebas, calcule hasta tres veces la media aritmética de todos los valores obtenidos e informe como el "valor promedio" para la propiedad particular en cuestión.

11.6 Calcule la desviación estándar (estimada) de la siguiente manera e informe a dos figuras significativas:

$$s = \sqrt{(\sum X^2 - n\bar{X}^2)/(n - 1)}$$

(2)

Dónde:

s = desviación estándar estimada,

X = valor de observación única,

n = número de observaciones, y

\bar{X} = media aritmética del conjunto de observaciones.

NOTA 9-El método para determinar el rendimiento de compresión compensado la resistencia es similar a la descrita en el Anexo del Método de prueba D638.

12. Informe

12.1 Informe la siguiente información:

12.1.1 Identificación completa del material probado, incluidos tipo, fuente, número de código del fabricante, formulario, principales dimensiones, historia previa, etc.,

12.1.2 Método de preparación de especímenes de prueba,

12.1.3 Tipo de probeta y dimensiones,

12.1.4 Procedimiento de acondicionamiento utilizado,

12.1.5 Condiciones atmosféricas en la sala de pruebas,

12.1.6 Número de muestras analizadas

12.1.7 Velocidad de prueba,

12.1.8 Resistencia a la compresión, valor promedio y estándar desviación,

12.1.9 Resistencia a la compresión y límite elástico valor promedio, y desviación estándar, cuando sea de interés,

12.1.10 Módulo de elasticidad en compresión (si se requiere), valor promedio, desviación estándar,

12.1.11 Fecha de prueba, y

12.1.12 Fecha del método de prueba.

13. Precisión y sesgo

13.1 La Tabla 1 y la Tabla 2 se basan en una prueba de round-robin conducido en 1987 de acuerdo con la práctica E691, involucrando tres materiales probados por seis laboratorios para el Método de Prueba D695M. Dado que los parámetros de prueba se superponen dentro de las tolerancias y los valores de prueba están normalizados, se usan los mismos datos para ambos métodos de prueba. Para cada material, todas las muestras fueron preparadas en una fuente. Cada resultado de la prueba fue el promedio de cinco determinaciones individuales. Cada laboratorio obtuvo dos pruebas resultados para cada material. (Advertencia-Las siguientes explicaciones de r y R (13.2 - 13.2.3) solo están destinados a presentar una forma significativa de considerar la precisión aproximada de este método de prueba. Los datos en la Tabla 1 y Tabla 2 no deberían ser rigurosamente aplicados a la aceptación o rechazo de material, como estos datos se aplican solo a los materiales probados en el round robin y es poco probable que sean rigurosamente representativos de otros lotes, formulaciones, condiciones, materiales o laboratorios. Usuarios de este método de prueba debe aplicar los principios descritos en la práctica E691 para generar datos específicos para su laboratorio y materiales o entre laboratorios específicos. Los principios de 13.2 - 13.2.3 sería entonces válido para tales datos).

TABLA 2 Módulo compresivo de precisión

(Values in Units of Gigapascals)

Material	Average	S_r^A	S_R^B	r^C	R^D
Acetal	3.28	0.14	0.25	0.39	0.70
Polystyrene	3.88	0.07	0.74	0.20	2.07
Linen-filled phenolic	6.82	0.23	0.90	0.64	2.52

^A S_r es la desviación estándar dentro del laboratorio para el material indicado. Es obtenido agrupando las desviaciones estándar dentro del laboratorio de los resultados de la prueba de todos los laboratorios participantes:

$$S_r = \left[[(S_1)^2 + (S_2)^2 + \dots + (S_n)^2] / n \right]^{1/2}$$

^B S_R es la reproducibilidad entre laboratorios, expresada como una estándar desviación, para el material indicado.

^C r es el límite de repetibilidad dentro del laboratorio, $r = 2.8 \times S_r$.

^D R es el límite de reproducibilidad entre laboratorios, $R = 2.8 \times S_R$.

13.2 Concepto de r y R en la Tabla 1 y Tabla 2-Si $S(r)$ y $S(R)$ se han calculado a partir de un cuerpo de datos suficientemente grande, y para los resultados de las pruebas que fueron promedios de las pruebas de cinco muestras para cada resultado de la prueba, luego:

13.2.1 Repetibilidad: dos resultados de prueba obtenidos dentro de un el laboratorio se considerarán no equivalente si difieren por más que la " r " para eso el material. " R " es el intervalo que representa la diferencia crítica entre dos resultados de prueba para el mismo material, obtenido por el mismo operador usando el mismo equipo el mismo día en el mismo laboratorio.

13.2.2 Reproducibilidad, resultados de la prueba R -Two obtenidos por diferentes laboratorios serán juzgados no equivalentes si difieren en más del valor " R " para ese material. " R " es el intervalo que representa la diferencia crítica entre las dos pruebas resultados para el mismo material, obtenidos por diferentes operadores utilizando diferentes equipos en diferentes laboratorios.

13.2.3 Cualquier juicio de acuerdo con 13.2.1 y 13.2.2 tendría una probabilidad aproximada del 95% (0,95) de ser correcto.

13.3 No hay estándares reconocidos para estimar el sesgo de este método de prueba.

14. Palabras clave

14.1 propiedades de compresión; fuerza compresiva; módulo de elasticidad; plástica

ANEXO

(Información obligatoria)

A1. COMPENSACIÓN DEL PIE

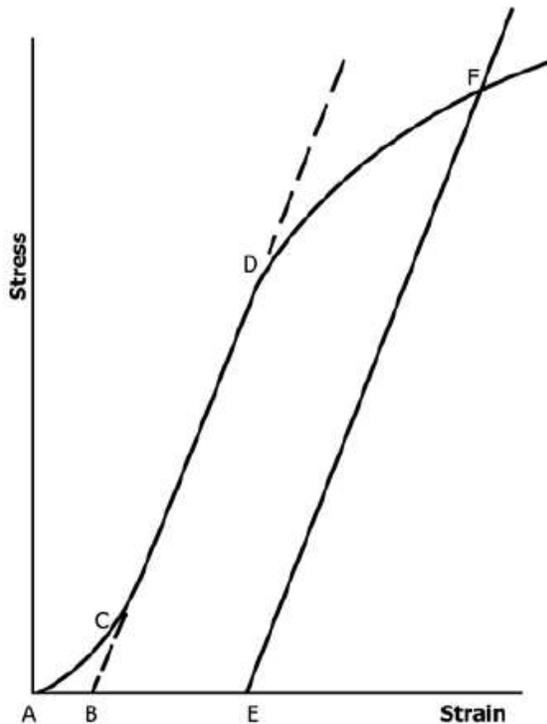


Fig. A1.1 Material con la región de Hookean

NOTA 1: algunos registradores de gráficos trazan la imagen especular de este gráfico.

A1.1 En una curva típica de tensión-deformación (Fig. A1.1) hay un dedo del pie región, AC, que no representa una propiedad del material.

Es un artefacto causado por una toma de holgura y alineación o Asiento del espécimen. Para obtener valores correctos de tales parámetros como módulo, deformación y punto de fluencia compensado, esto artefacto debe ser compensado para dar el cero corregido apunte a la tensión o al eje de extensión.

A1.2 En el caso de un material que presente una región de Comportamiento Hookean (lineal) (Fig. A1.1), una continuación de la región lineal (CD) de la curva se construye a través del eje de cero esfuerzos. Esta intersección (B) es el tren de fuerza corregido punto desde el cual todas las extensiones o cepas deben ser medido, incluido el offset de rendimiento (BE), si corresponde. Los módulos de elasticidad se pueden determinar dividiendo el estrés en cualquier señalar a lo largo de la línea CD (o su extensión) por la tensión en el mismo punto (medido desde el Punto B, definido como cepa cero).

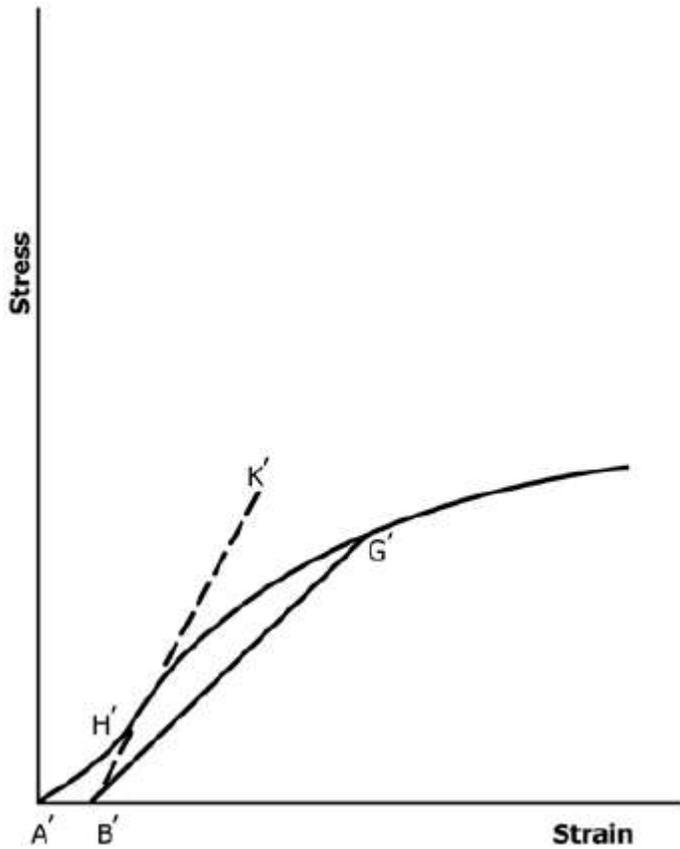


Fig. A1.2 Material que no es de la región de Hookean

NOTA 1: algunos registradores de gráficos trazan la imagen especular de este gráfico.

A1.3 En el caso de un material que no exhibe ninguna región lineal (figura A1.2), el mismo tipo de corrección del dedo del pie del punto de cepa cero se puede hacer mediante la construcción de una tangente a la pendiente máxima en el punto de inflexión (H'). Esto se extiende a interseca el eje de deformación en el punto B', la deformación cero corregida punto. Usando el punto B' como tensión cero, el estrés en cualquier punto (G') en la curva se puede dividir por la tensión en ese punto para obtener un módulo secante (pendiente de la línea B'G'). Para esos materiales con sin región lineal, cualquier intento de usar la tangente a través del punto de inflexión como base para la determinación de un rendimiento de compensación punto puede resultar en un error inaceptable.

RESUMEN DE CAMBIOS

El Comité D20 ha identificado la ubicación de los cambios seleccionados a esta norma desde el último número (D695-10) que puede afectar el uso de este estándar. (1 de septiembre de 2015)

- (1) Se agregó el Método de prueba D6641 / D6641M a la Nota 1 y 2.1.
- (2) Subsección 3.2.14-Cálculo agregado para el radio de giro para tubos para determinar la relación de esbeltez.
- (3) Subsección 5.5-Se agregó "diámetro" a una de las dimensiones eso se puede medir
- (4) Subsección 6.1-Solo referida a 6.2 - 6.7. Esto era actualizado para incluir 6.2 - 6.8.
- (5) Subsección 6.2-Especímenes clarificados que se utilizarán para la resistencia y módulo, y cambió 6.3 - 6.7 a 6.3 - 6.8.
- (6) Se agregó la subsección 6.2.1.
- (7) Se agregó una redacción para aclarar la selección de la dimensión del espécimen para resistencia y módulo a 6.3, 6.4, 6.5, 6.7, 6.7.1 y 6.8.
- (8) Se eliminó la Nota 4 y se colocó en el cuerpo de 6.4 tal como estaba no es apropiado como una nota.
- (9) Notas numeradas nuevamente numeradas desde que se eliminó la Nota 4.
- (10) Subsección 10.1-Diámetro agregado como una dimensión que puede ser medido y corregido la conversión de la unidad de mm a pulgada.
- (11) Subsección 10.5.1-Se revisó la redacción para que la interpretación de "conectar el compresómetro" no se malinterpretó como solo se puede usar un extensómetro de contacto. La redacción ahora implica cualquier tipo de compresómetro (de contacto o no) puede ser usado.
- (12) Subsección 10.5.4-Se revisó la frase "puede ser deseable" a "es permitido".
- (13) Subsección 11.6-El cálculo de la desviación estándar al que se hace referencia numero 1"); esto fue cambiado a "(2)" ya que el El cálculo del radio de giro para tubos ahora es "(1)".

ASTM International no toma ninguna posición respecto de la validez de los derechos de patente afirmados en relación con cualquier artículo mencionado en este estándar. Se informa expresamente a los usuarios de esta norma que la determinación de la validez de dichos derechos de patente y el riesgo de infracción de tales derechos, son enteramente su propia responsabilidad.

Esta norma está sujeta a revisión en cualquier momento por el comité técnico responsable y debe revisarse cada cinco años y si no se revisa, se vuelve a aprobar o se retira. Sus comentarios están invitados ya sea para la revisión de esta norma o para normas adicionales y debe dirigirse a la sede central de ASTM International. Sus comentarios recibirán una consideración cuidadosa en una reunión del comité técnico responsable, al que puede asistir. Si considera que sus comentarios no han recibido una audiencia justa, debería dar a conocer

sus puntos de vista al Comité de Normas de ASTM, en la dirección que se muestra a continuación.

Esta norma tiene derechos de autor de ASTM International, 100 Barr Harbour Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, Estados Unidos. Se pueden obtener copias individuales (copias únicas o múltiples) de este estándar contactando a ASTM en el formulario anterior. Dirección o al 610-832-9585 (teléfono), 610-832-9555 (fax), o servicio@astm.org (correo electrónico); oa través del sitio web de ASTM (www.astm.org). Los derechos de permiso para fotocopiar el estándar también pueden obtenerse del Centro de autorización de derechos de autor, 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923, Tel: (978) 646-2600; <http://www.copyright.com/>

ANEXOS C:
Catálogo Ivan Bohman -
Acero AISI D2



Información General						
<p>XW41 es un acero para utilajes con alto contenido de carbono y cromo, aleado con molibdeno y vanadio, caracterizado por:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Alta resistencia al desgaste. • Alta resistencia a la compresión. • Buenas propiedades de temple tanto en núcleo como en superficie. • Excelente estabilidad en el temple. • Buena resistencia al revenido 						
Análisis típico %	C	Si	Mn	Cr	Mo	V
	1,55	0,3	0,4	11,8	0,8	0,8
Normas equivalentes	BD2, AFNOR Z160 CDV 12, AISI D2, W.-Nr. 1.2379.					
Estado de suministros	Recocido blando aprox. 210 HB					
Código de color	Amarillo / Blanco					

Aplicaciones	
Conformado	HRC
Herramientas para: Doblar, acuñar, embutición profunda, repujado y conformado por estirado.	56 - 62
Troqueles de acuñar en frío	56 - 60
Sufrideras para prensado en frío	58 - 60
Estampas para prensado en frío	56 - 60
Laminadores para tubos y laminado de secciones, laminadores planas	58 - 62
Sufrideras para el conformado de: Materiales cerámicos, ladrillos, azulejos, muelas de afilado, tabletas, plásticos abrasivos.	58 - 62
Herramientas para laminado de roscas	58 - 62
Herramientas para estampado en frío	56 - 60
Martillos de trituración	56 - 60
Bloques de estampado	56 - 60
Calibres, herramientas de medición, columnas guía, casquillos, manguitos, moletas, boquillas de chorreado con arena	58 - 62

Aplicaciones			
<p>Se recomienda para fabricar utilajes que deban tener una resistencia muy alta al desgaste, combinada con una tenacidad moderada (resistencia a los golpes). Además de las aplicaciones relacionadas en catálogo de XW5, se utiliza para cortar materiales más gruesos y duros, y en herramientas de dar forma expuestas a esfuerzos de flexión y cargas de impacto.</p> <p>XW41 puede suministrarse en varios acabados, incluyendo el laminado en caliente, premechanizado o en acabado definitivo. También puede obtenerse en forma de barras huecas y anillos.</p>			
		Dureza del material (HB)	
Herramientas para	Espesor del material	<180 HRC	>180 HRC
Corte, corte fino Cizallado, punzonado, doblado, desbarbado.	< 3 mm 3 - 6 mm	60 - 62 58 - 60	58 - 60 54 - 56
Cizallas cortas para trabajar en frío, cuchillas para corte de plásticos, cuchillas de molinos granuladores			56 - 60
Cizallas circulares			58 - 60
Herramientas de tronzado y desbarbado para piezas de forja	(En caliente) (En frío)		58 - 60 56 - 58
Fresas para madera, escuradoras, mandrinado.			58 - 60

Propiedades			
Características físicas			
Templado y revenido a 62 HRC. Características a la temperatura ambiente y temperaturas elevadas.			
Temperatura	20 °C	200 °C	400 °C
Densidad kg/m ³	7700	7 650	7 600
Módulo de elasticidad Mpa	210 000	200 000	180 000
Coeficiente de dilatación térmica	- a baja temperatura revenido por °C a partir de 20 °C	-	12,3 x 10 ⁻⁶
	- a alta temperatura revenido por °C a partir de 20 °C	-	11,2 x 10 ⁻⁶
Conductibilidad térmica W/m °C	20,0	21,0	23,0
Calor específico J/Kg °C	460	---	---





Propiedades

Características mecánicas	
Resistencia a la compresión. Las cifras deben considerarse como aproximadas.	
Dureza HRC	Resistencia a la compresión Rc0.2 Mpa
62	2200
60	2150
55	1900
50	1650

Tratamiento térmico

Recocido blando
 Proteger el acero y calentarlo en toda su masa a 850 °C. Luego enfriarlo en el horno 10 °C por hora hasta 650 °C y por último libremente en el aire.

Eliminación de tensiones
 Después del desbastado en máquina, debe calentarse la herramienta en toda su masa a 650 °C, tiempo de mantenimiento 2 horas. Enfriar lentamente hasta 500 °C y después libremente al aire.

Temple
 Temperatura de precalentamiento: 650 - 750 °C.
 Temperatura de austenización: 990 - 1050 °C.
 Normalmente 1000 - 1040 °C.

Temperatura °C	Tiempo de mantenimiento minutos *	Dureza antes del revenido HRC
990	60	Apróx. 63
1010	45	Apróx. 64
1030	30	Apróx. 65

* Tiempo de mantenimiento = tiempo a la temperatura de temple después de que la herramienta está plenamente calentada en toda su masa.

Proteger la herramienta contra decarburación y oxidación durante el proceso de temple.

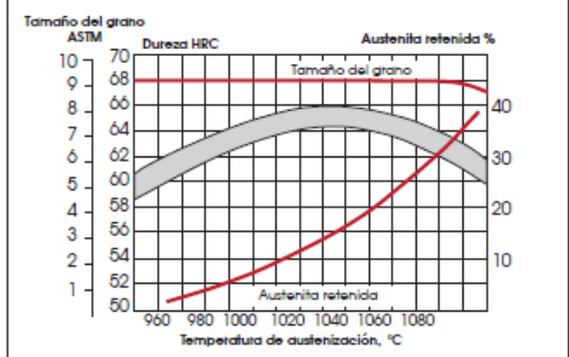
Temple

- Aceite (sólo geometrías sencillas).
- Vacío (gas a alta velocidad).
- Aire forzado/gas.
- Temple escalonado martensítico o lecho fluidizado a 180 - 500 °C, después, enfriar al aire.

Nota: Revenir inmediatamente que la herramienta alcance 50 - 70 °C.

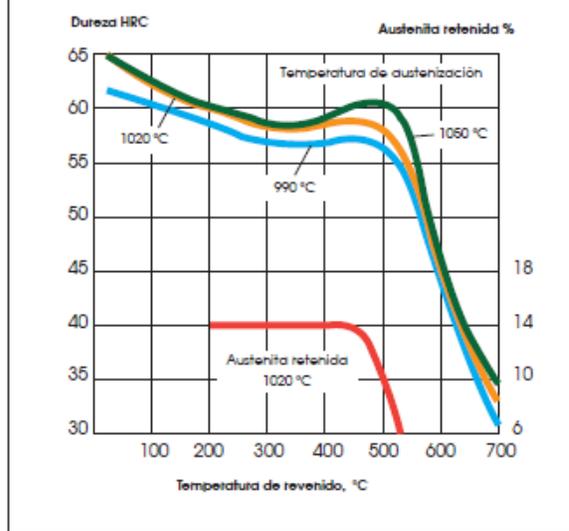
Tratamiento térmico

Temple
 Dureza, tamaño del grano y austenita retenida, en función de la temperatura de austenización.



Revenido

Elegir la temperatura de acuerdo con la dureza requerida según el gráfico de revenido. Revenir dos veces con enfriamiento intermedio a la temperatura ambiental. Mínima temperatura de revenido 180 °C. Tiempo mínimo de mantenimiento de temperatura, 2 horas.



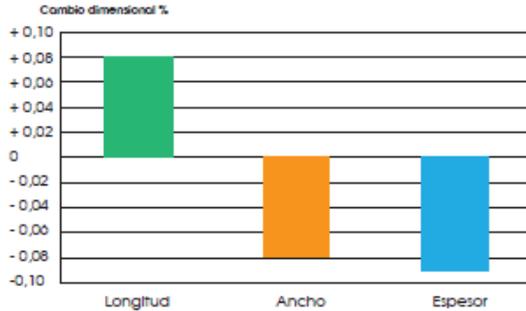


Tratamiento térmico

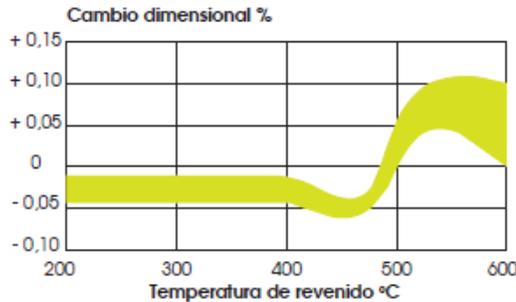
Cambios dimensionales durante el temple

Tratamiento térmico: Temperatura de autenización 1020 °C, 30 minutos, enfriar en equipo de vacío con 2 bar de sobrepresión.

Probeta 80 x 80 x 80 mm.



Cambios dimensionales durante el revenido



Nota: Hay que sumar los cambios dimensionales experimentados en el temple y revenido. Tolerancia recomendada 0,15%

Tratamiento sub-cero

Las piezas que requieran una estabilidad dimensional máxima deberán someterse a tratamiento sub-cero*, para que con el tiempo no experimenten cambios en el volumen. Esto se aplica, por ejemplo, a las herramientas de medición y ciertas piezas de construcción.

Inmediatamente después del temple la pieza se enfriará entre -70 y -80 °C durante un tiempo de 3 a 4 horas, seguido de revenido.

El tratamiento sub - cero confiere un aumento de dureza de 1 - 3 HRC. Evitar las formas complicadas debido al riesgo de formación de grietas.

* En algunas ocasiones se utiliza también un envejecimiento a 110 - 140 °C durante 25 - 100 horas.

Cambios dimensionales durante el temple

La nitruración aporta una superficie dura muy resistente al desgaste y a la erosión. Una superficie nitrurada aumenta también la resistencia a la corrosión. La dureza de la superficie después de la nitruración a una temperatura de 525 °C en gas amoníaco será de aprox. 1250 HV1.

Temperatura nitruración °C	Tiempo de nitruración horas	Profundidad de la capa mm, aprox.
525	20	0,25
525	30	0,30
525	60	0,35

La Nitrocarburoación se realiza en un baño de sales especial a 570 °C. Tiempo de mantenimiento: normalmente 2 horas. Da una dureza superficial de aprox. 950 HV1. El espesor de capa es de 10 - 20 µm. Estas cifras se refieren a material templado y revenido previamente.

Mecanizado por electroerosión

Si la electroerosión se efectúa en material templado y revenido, deberá darse a la herramienta un revenido adicional a aprox. 25 °C por debajo de la temperatura de revenido anterior.

Medidas en stock

Redondo						Platinas			
Diámetro (mm)	Peso (kg/m)	Diámetro (mm)	Peso (kg/m)	Diámetro (mm)	Peso (kg/m)	Platinas (mm)	Peso (kg/m)	Platinas (mm)	Peso (kg/m)
10	0,6	66	27,4	126	100,0	15 x 57	6,8	35 x 133	37,2
15	1,4	70	30,9	127	101,6	18 x 86	12,4	35 x 166	46,5
31	6,1	71	31,8	127	101,6	20 x 685	109,6	35 x 260	72,8
32	6,5	76	36,4	131	108,1	22 x 133	23,4	35 x 57	16,0
35	7,7	76,2	36,6	152	145,6	22 x 210	37,0	40 x 300	96,0
40	10,1	82,6	43,0	153	147,5	22 x 86	15,1	40 x 610	195,2
41	10,6	86	46,6	160	161,3	28 x 108	24,2	43 x 260	89,4
46	13,3	90	51,0	165	171,5	28 x 133	29,8	50 x 615	246,0
50	15,8	91	52,2	167	175,7	28 x 158	35,4	60 x 615	295,2
50,8	16,3	101	64,3	170	182,1	28 x 260	58,2		
51	16,4	102	65,5	180	204,1	28 x 45	10,1		
55	19,1	108	73,5	182	208,7	28 x 86	19,3		
56	19,8	115	83,3	202	257,1	30 x 615	147,6		
63,5	25,4	116	84,8	203	259,6	35 x 108	30,2		

* Medidas y pesos son teóricos IVAN BOHMAN C.A. facturará al peso del material una vez efectuado el corte

ANEXOS D:

Catálogo Pernos Allen

PERNOS ALLEN Y PRISIONEROS

MATERIAL:

Está fabricado en acero de medio carbono aleado tratado térmicamente. La dureza del perno en pulgadas es SAE GRADO 8. En el perno milimétrico la dureza es DIN CLASE 8.8 y 12.9.

PRESENTACION:

El perno Allen se encuentra disponible en acero negro y en acero inoxidable, tanto en pulgadas como en milímetros, en rosca gruesa. Lo tenemos en cabeza cilíndrica y en cabeza avellanada o cónica.

El prisionero está disponible en acero negro tanto en pulgadas rosca fina y rosca gruesa, como en milímetros rosca gruesa.

APLICACIONES:

Recomendamos su utilización para aplicaciones industriales y automotrices.



PERNOS ALLEN		
DIAMETRO	LLAVE	
	CAB. REDONDA	CAB. AVELLANADA
5/32	1/8	n/a
3/16	5/32	1/8
1/4	3/16	5/32
5/16	1/4	3/16
3/8	5/16	7/32
1/2	3/8	5/16

PRISIONEROS	
DIAMETRO	LLAVE
5/32	5/64
3/16	3/32
1/4	1/8
5/16	5/32
3/8	3/16
1/2	1/4

PERNOS ALLEN		
DIAMETRO	LLAVE	
	CAB. REDONDA	CAB. AVELLANADA
M4	3	n/a
M5	4	3
M6	5	4
M8	6	5
M10	8	6
M12	10	8

PRISIONEROS	
DIAMETRO	LLAVE
M4	2
M5	2,5
M6	3
M8	4
M10	5
M12	6

ANEXOS E:
Catálogo Instron -
Composites Test Fixtures -
Compression

Composites Test Fixtures - Compression | Anti-Buckling

Features

- Versions available to meet the following standards:
 - ASTM D695 / ASTM D3846
 - Boeing BSS 7260
 - SACMA SRM-1
 - ISO 14126 / prEN 2850
- Anti-buckling plates with cut-outs for bonded strain gauges available
- Wide temperature range
- Stainless steel construction for easy maintenance and durability

Description

The anti-buckling fixture was originally designed for the compression testing of rigid plastics per ASTM D 695 and the shear testing of reinforced plastics per ASTM D 3846. Boeing then adapted the fixture for use with high strength composites, introducing an L-shaped base support to ensure accurate and consistent alignment of the fixture and specimen.

The SACMA standard followed the Boeing design with an added alternative support fixture with a cutout, allowing bonded strain gages to be used at the center of the specimen for precise strain measurement.

Principle of Operation

The fixtures incorporate ribbed guides to provide lateral support for the specimen whilst minimizing the contact area (Note: the rib detail in SACMA SRM-1 is different from that in ASTM D695). The fixtures are bolted together supporting the specimen. Both wing nuts and hex nuts are provided – the hex nuts allow the use of a torque wrench to set the exact bolt torques.

The specimen and fixtures are located between a pair of compression platens. ASTM D695 describes placing the specimen and Anti-Buckling fixtures directly between the platens but the composites testing standards all require the use of an L-shaped base support.

It is very important that the platens are well aligned, because the load is applied to the specimen through the end face. For

this reason it is recommended that one of the platens incorporates a lockable spherical seat to ensure parallelism.

ASTM D695 describes the use of untabbed specimens for the determination of both modulus and ultimate strength. Compression tests on high strength composite materials require different specimen designs for modulus and ultimate strength. Modulus is determined using a rectangular flat specimen but the determination of ultimate strength requires a tabbed specimen with a short unsupported gauge section.

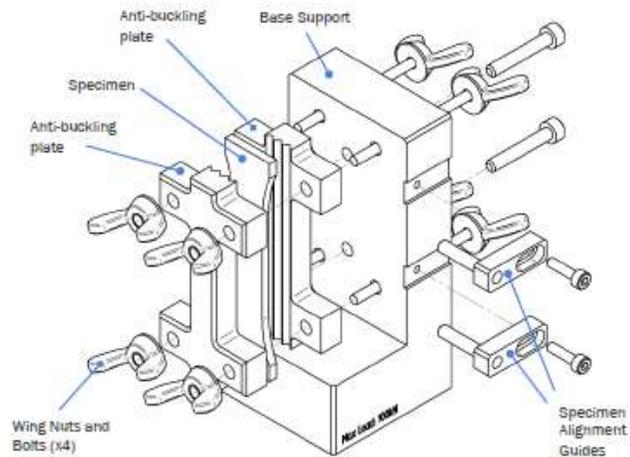
When determining modulus strain measurement is required. Strain can be measured using a pair of strain gauges one on each side of the specimen (versions of the guide plates incorporating cut-outs to provide clearance for the gauges and wires are available). It is also possible to use clip-on or automatic extensometers.

Application Range

- Type of test: End Loading, Compression & Shear
- Specimen material: Rigid Plastics, Reinforced Plastics and Composites
- Specimen shapes: Flat specimens as per standards



▲ Anti-buckling fixture with base support end loaded between compression platens. The upper compression platen has a lockable spherical seat



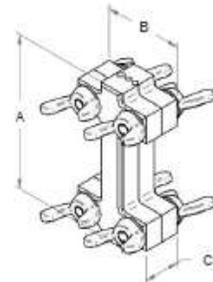
Specifications

Catalog Number		S4931A	CP108932	CP114221	CP114215	CP115010	CP115011
Test Standard		ASTM D695 and D3846		SACMA SRM-1		ISO 14126 and prEN 2850	
With Strain Gauge Cutout		No	Yes	No	Yes	No	Yes
Maximum Load	kN	100		100		100	
Temperature Range	°C	-100 to +350		-100 to +350		-100 to +350	
	°F	-148 to +662		-148 to +662		-148 to +662	
Specimen Thickness (including tabs)	mm	1.0 to 12.7		1.0 to 12.7		1.0 to 12.7	
	in	0.04 to 0.5		0.04 to 0.5		0.04 to 0.5	
Specimen Length	mm	79.4		80.0		75.0 to 80.0	
	in	3.13		3.15		2.95 to 3.15	
Mass (approximate)	kg	0.3		0.3		0.3	
	lb	0.66		0.66		0.66	
Upper and Lower Interface (see Note 1 below)		Platen of minimum diameter 100 mm (4 in.)		Platen of minimum diameter 100 mm (4 in.)		Platen of minimum diameter 100 mm (4 in.)	
Effective Length (A)	mm	73.0		73.0		70.0	
	in	2.87		2.87		2.75	
Overall Width (B)	mm	36.5		38.1		36.5	
	in	1.44		1.50		1.44	
Depth (C)	mm	19.1		28.6		25.0	
	in	0.75		1.13		0.98	

Note 1: It is recommended that the upper platen incorporates a lockable spherical seat

Accessories

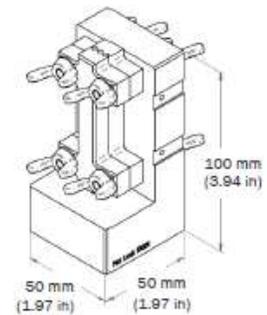
CP114249	Base Support for for Anti-Buckling Support Jigs/Plates to Boeing BSS 7260 (ASTM D 695 modified) / SACMA SRM-1 / prEN 2850
CP105578 / CP107495	Electrical Adapters for 350/120 ohm strain gauges
Strain Gauge Extensometer	Contact Instron



Configuration Table

Category	Catalog Number	Test Standard					
		ASTM D695	ASTM D3846	Boeing BSS 7260	SACMA SRM-1	prEN 2850	ISO 14126
Anti-buckling jigs	S4931A or CP108932	●	●	●			
	CP114221 or CP114215				●		
	CP115010 or CP115011					●	●
Base Support	CP114249	○	○	●	●	●	●

● Required ○ Optional



ANEXOS F:

Proceso de mecanizado y ensamblaje

- Compra del acero AISI D2.



- Se empezó realizando agujeros y desbastes en el acero para obtener cada pieza necesaria con un sobredimensionamiento de 1 cm.





- Una vez obtenidas las piezas con el sobredimensionamiento, se realizó los agujeros y el desbaste para obtener el primer acabado con una variación de 3 mm en relación a las medidas finales.



- Para el acabado final se realizó un pulido para reducir los 3 mm y obtener las medidas establecidas.



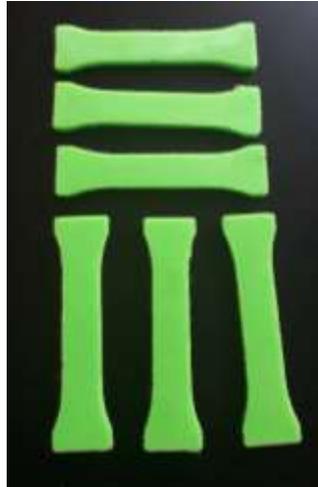
- Para finalizar se ensambla las piezas.



ANEXOS G:

Proceso para realizar la
prueba de compresión de
polímeros

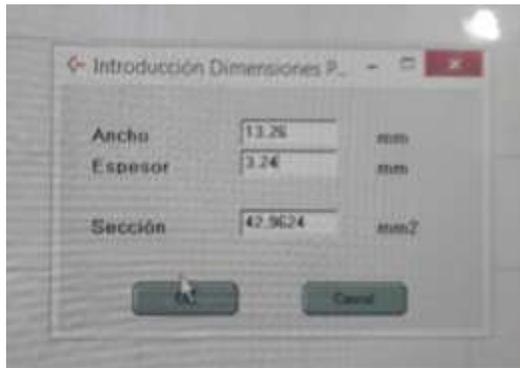
- Se creó las probetas con polímeros PLA y ASA mediante impresión 3D según las dimensiones establecidas en la norma ASTM D695.



- Se montó los platos y se setea la máquina Metrotec Serie MTE antes de empezar la prueba.



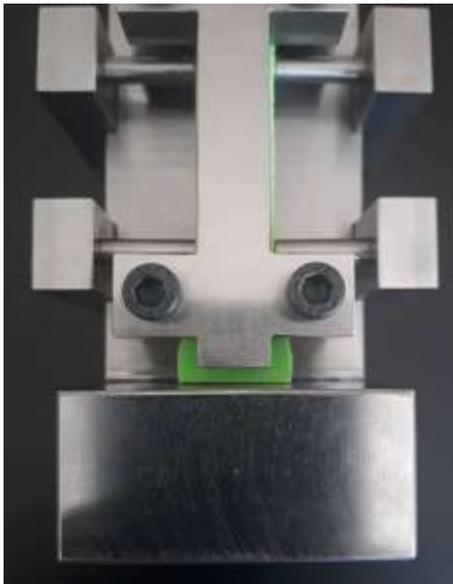
- Se codifica y se realiza la medición de ancho y espesor en la parte media de las probetas.



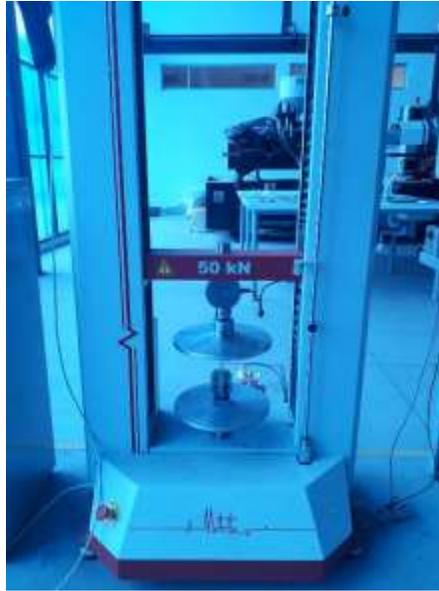
- Se monta una probeta sobre el utillaje, si existe dificultad para aflojar los pernos se puede utilizar un hexagonal CR-V4 y una llave #8.



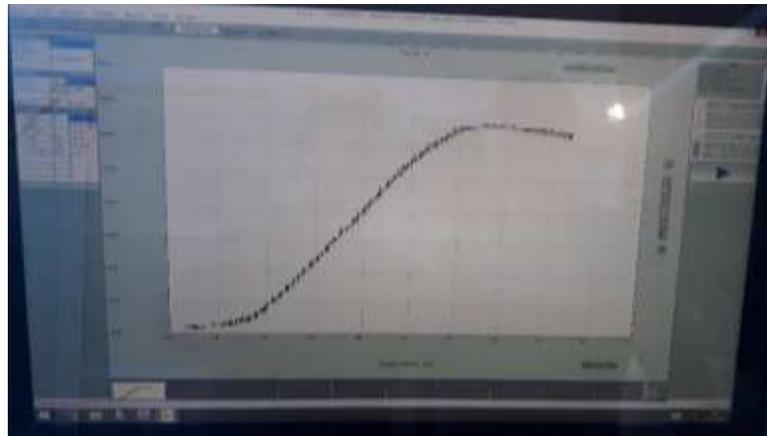
- Una vez montada y centrada la probeta se la empuja hasta que tope el borde de la base del utillaje y se lo ajusta con una presión normal ejercida con las manos, no es necesario utilizar el hexagonal o la llave para dar un mayor apriete.



- Se ubica el utillaje con la probeta sobre el centro de los platos de la máquina Metrotec Serie MTE.



- Antes de dar inicio a la prueba se ingresa en el software los valores de ancho y espesor de la probeta y la velocidad a la cual se va a realizar la compresión que según la norma ASTM D695 es de 1,3 mm/min.
- Cuando empieza a comprimir se observa que se va formando una gráfica con la curva de carga – deformación la cual se va registrando hasta que llega al punto de ruptura o cuando excede la deformación máxima que resiste el polímero de la prueba.



- Para finalizar se emite un informe con los datos y valores de cada probeta que fueron registrados por el software de la máquina Metrotec Serie MTE. Determinando la resistencia máxima a la compresión del polímero.

**ANEXOS H:
Resultados
emitidos por el
Centro de Fomento
Productivo
Metalmecánico
Carrocero**

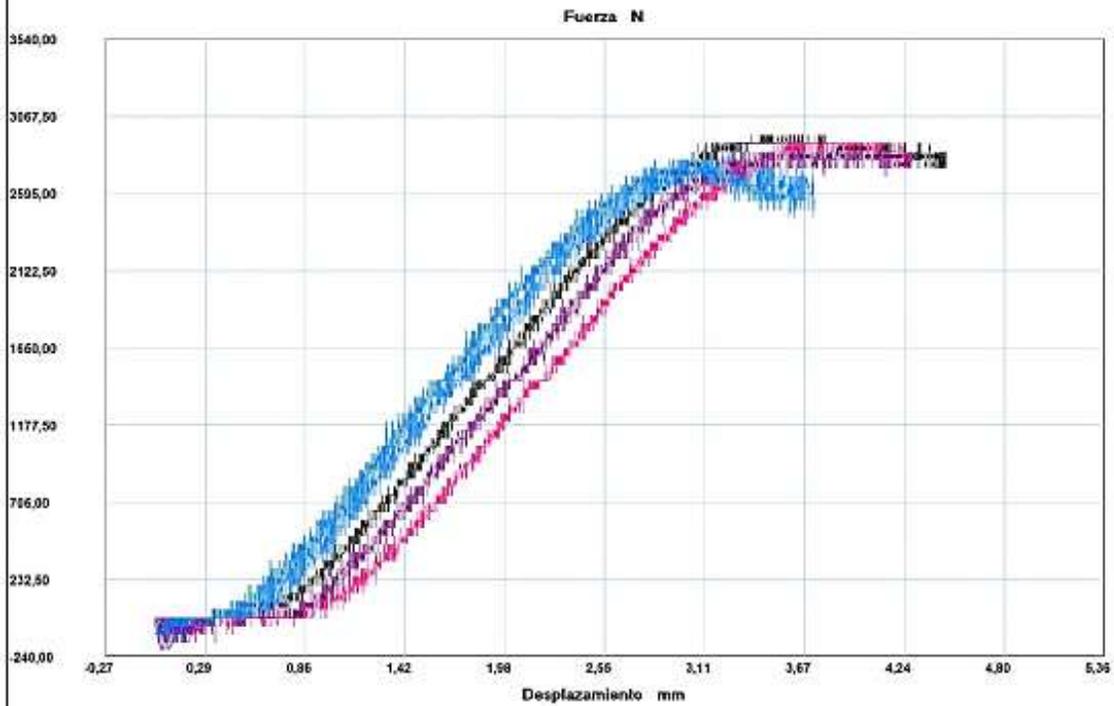
INFORME :
 ENSAYO :

ECP 01
 COMPRESION



Referencia : MATERIAL POLIMÉRICO
 Cliente :
 Calidad :
 Operario : A. Técnico
 Norma : ASTM D695
 Fecha : 10/01/2020
 Hora : 9:29:57
 Temperatura : 22,8
 H.R.% : 51,3
 Pedido : 180385787720200110

Material PLA (Declarado por el cliente)



Probeta	FMax N	CMax MPa
■ 1	2950,00	68,66
■ 2	2850,00	66,18
■ 3	2950,00	68,55
■ 4	2900,00	67,10
■ 5	2850,00	65,68
Media	2900,000	67,236
Mediana	2900,000	67,096
Desv. Std	50,000	1,353
Coef. V.	0,017	0,020
Máximo	2950,000	68,665
Mínimo	2850,000	65,682
Rango	100,000	2,982
CPK	0,000	0,000
+3 Sigma	3050,000	71,294
-3 Sigma	2750,000	63,178

Parametros

Precarga	=	0,00	N
Caida %	=	80,00	
Retomo Automatico	=	0,00	
Limite Fuerza	=	1500000,00	N
Limite Desplazamiento	=	100,00	mm
Stop Ext	=	50,00	mm

Velocidades

Precarga	=	1,30	mm/min
Ensayo	=	1,30	mm/min
Retomo	=	100,00	mm/min
Posicionamiento	=	10,00	mm/min

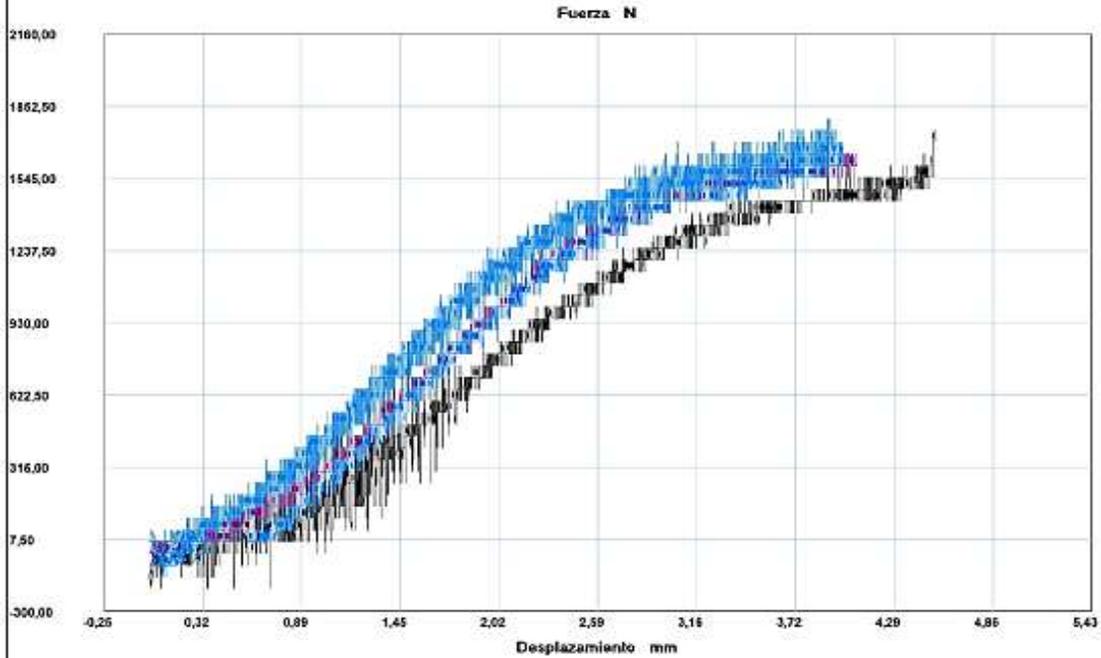
INFORME :
ENSAYO :

ECP 02
COMPRESION



Referencia : MATERIAL POLIMÉRICO
Cliente :
Calidad :
Operario : A. Técnico
Norma : ASTM D695
Fecha : 16/01/2020
Hora : 14:41:16
Temperatura : 22,9
H.R.% : 55,9
Pedido : 180385787720200110

Material ASA



Probeta	FMax N	CMax MPa
■ 1	1750,00	38,57
■ 2	1750,00	38,65
■ 3	1650,00	35,79
■ 4	1700,00	36,48
■ 5	1800,00	38,85
Media	1730,000	37,666
Mediana	1750,000	38,568
Desv. Std	57,009	1,422
Coef. V.	0,033	0,038
Máximo	1800,000	38,846
Mínimo	1650,000	35,792
Rango	150,000	3,054
CPK	0,000	0,000
+3 Sigma	1901,026	41,932
-3 Sigma	1558,974	33,399

Parametros

Precarga	=	0,00	N
Caida %	=	80,00	
Retomo Automatico	=	0,00	
Limite Fuerza	=	1500000,00	N
Limite Desplazamiento	=	100,00	mm
Stop Ext	=	50,00	mm

Velocidades

Precarga	=	1,30	mm/min
Ensayo	=	1,30	mm/min
Retomo	=	100,00	mm/min
Posicionamiento	=	30,00	mm/min

ANEXOS I: CERTIFICADO



Ambato, 17 de enero del 2020

CERTIFICADO

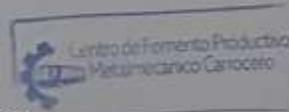
A quien corresponda:

Yo, **Ing. Jorge Rodas B. MEng.** en calidad de **Supervisor Área de Ensayos e Inspecciones** del Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero (CFPMC) de H. Gobierno Provincial de Tungurahua, por medio de la presente me permito poner en su conocimiento que el utillaje realizado por el Sr. **Valle Yépez Miguel Sebastian** con CI: **1803857877** estudiante de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato en su Proyecto Técnico de Titulación bajo el tema: "DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL UTILLAJE PARA EL MÉTODO ESTÁNDAR DE PRUEBA PARA PROPIEDADES DE COMPRESIÓN DE POLÍMEROS (ASTM D695:2015) EN EL CENTRO DE FOMENTO PRODUCTIVO METALMECANICO CARROCERO" y en nombre de la institución a la cual represento confirmo:

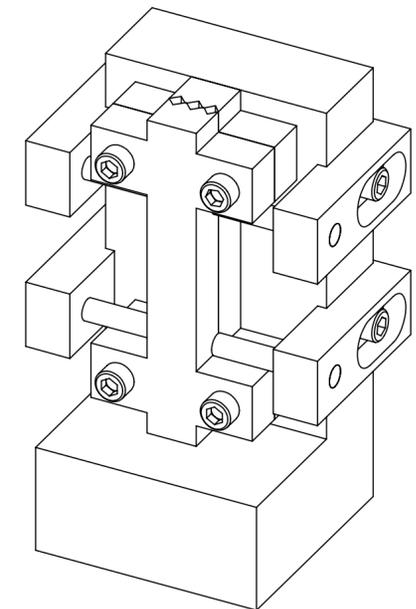
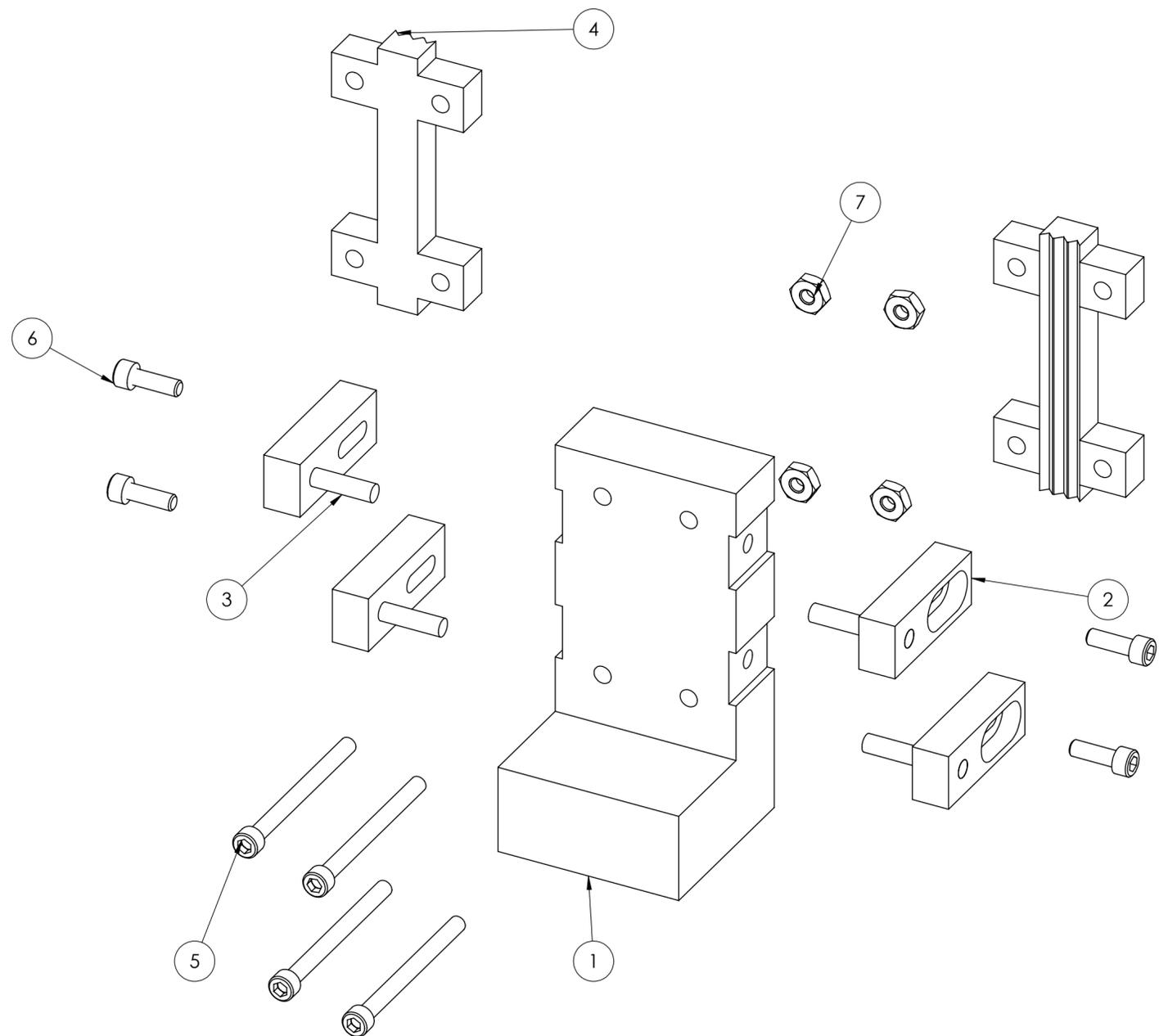
- El utillaje cumple con lo establecido en la norma ASTM D695:2015 (Método de prueba estándar para Propiedades de Compresión de Polímeros).
- Luego de realizar las pruebas necesarias el utillaje es funcional para realizar las pruebas de compresión de polímeros en el CFPMC.
- El utillaje mencionado se ha recibido en las instalaciones del laboratorio de Resistencia de Materiales del CFPMC.

Sin otro particular y para constancia establezco mi firma.

Ing. Jorge A. Rodas
Supervisor Técnico de Ensayos e Inspecciones
Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero
H. Gobierno Provincial Tungurahua
Contacto: +593 3 3730350 Ext: 1
Móvil: +593 991436377



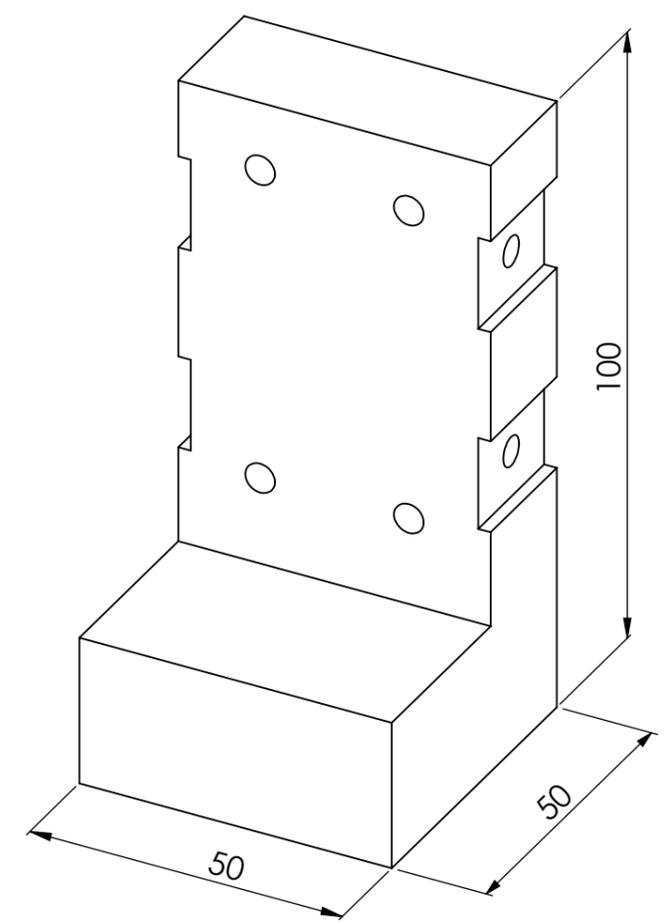
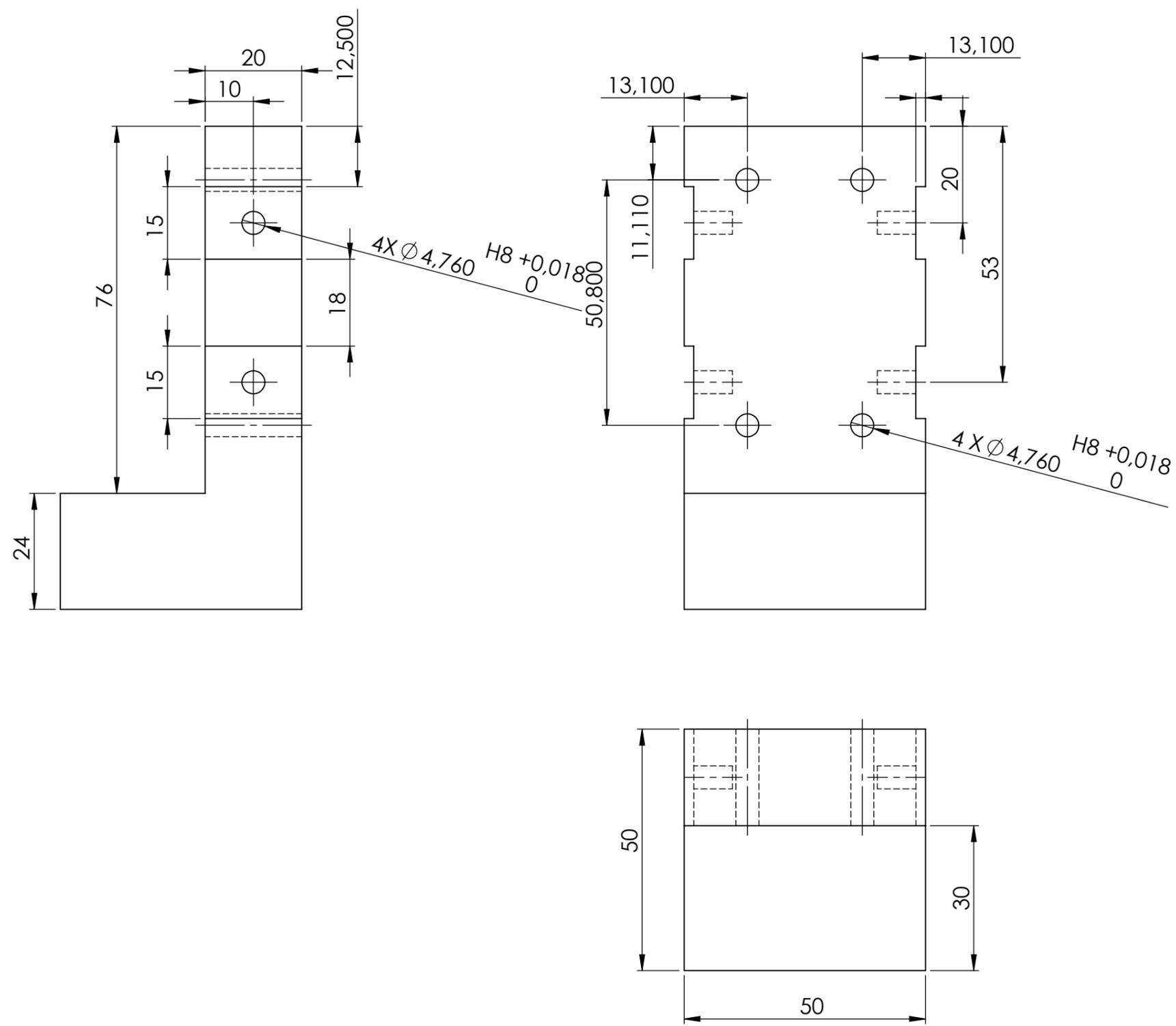
PLANOS



ITEM NO.	DENOMINACIÓN	MATERIAL	No. DE PIEZAS	OBSERVACIONES
1	BASE	AISI D2	1	MECANIZADO
2	GUIA DE ALINEACION	AISI D2	4	MECANIZADO
3	EJE GUIA DE ALINEACION	AISI D2	4	MECANIZADO
4	PLANTILLA DE SOPORTE	AISI D2	2	MECANIZADO
5	HX-SHCS 0.164-36x2x2-N		4	ADQUIRIDO
6	HX-SHCS 0.164-36x0.5x0.5-N		4	ADQUIRIDO
7	MSHXNUT 0.164-36-D-N		4	ADQUIRIDO

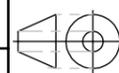
TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
±0,01	1318,50 gr	VARIOS	
FECHA:	NOMBRE:	TÍTULO:	ESCALA:
DIBUJO: 15/11/2010	MIGUEL VALLE	UTILLAJE ENSAMBLE	1:1
REVISO: 28/11/2019	ING. ESPIN		
APROBO: 28/11/2019	ING. ESPIN		
U.T.A.			N.º DE LAMINA
INGENIERIA MECANICA	SUSTITUCION:	HOJA 1 DE 6	

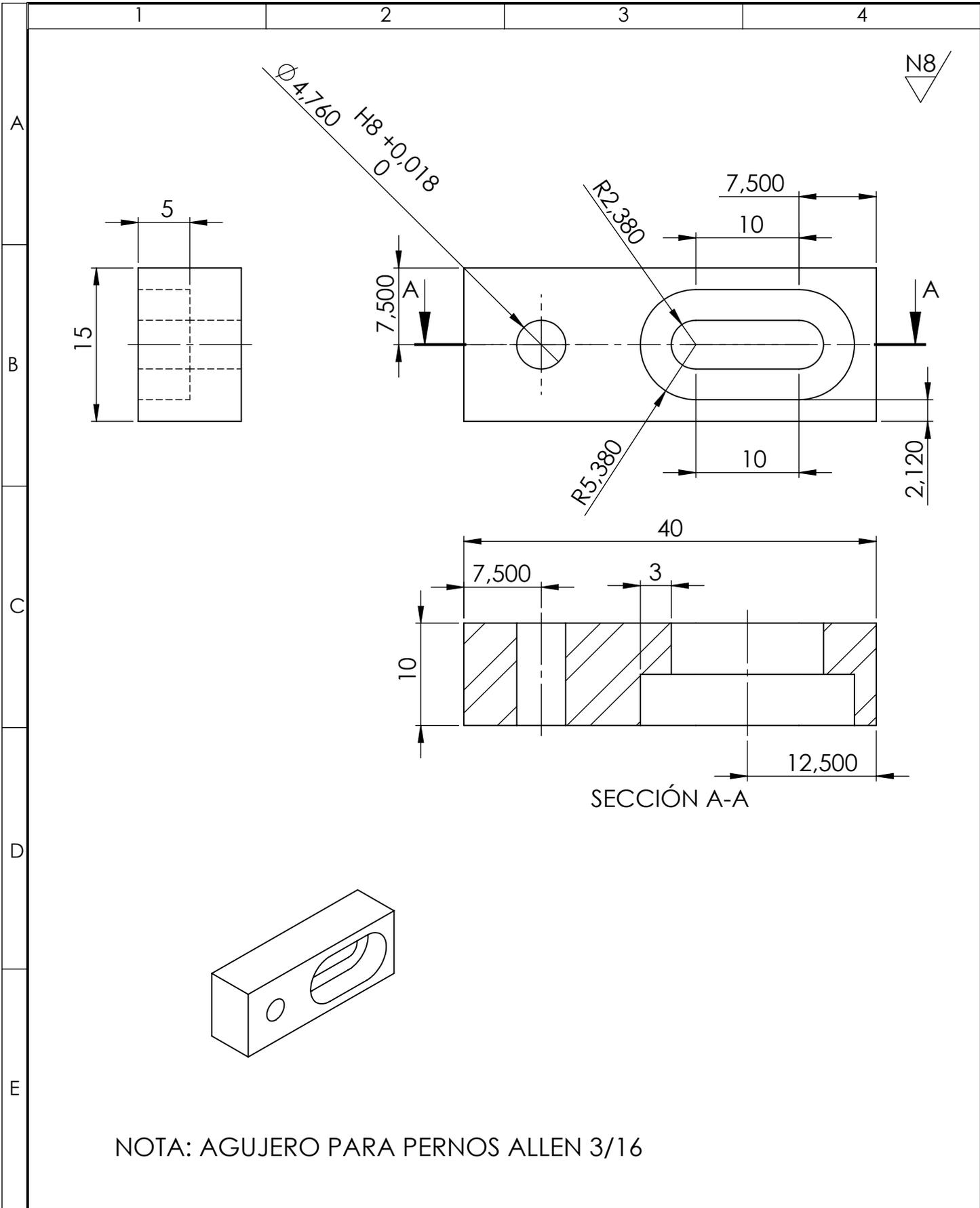
N8



NOTA: TODOS LOS AGUJEROS PARA PERNOS ALLEN DE 3/16 plg

TOLERANCIA:		PESO:		MATERIAL:	
±0,01		967,17 gr		AISI D2	
FECHA:		NOMBRE:		TÍTULO:	
DIBUJO: 28/11/2019		MIGUEL VALLE		BASE	
REVISO: 28/11/2019		ING. ESPIN			
APROBO: 28/11/2019		ING. ESPIN			
U.T.A.				N.º DE LAMINA	
INGENIERIA MECANICA				HOJA 2 DE 6	
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:	REGISTRO:	





				TOLERANCIA: $\pm 0,01$	PESO: 34,67 gr	MATERIAL: AISÍ D2	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO: GUIA DE ALINEACIÓN	ESCALA: 2:1
				DIBUJO: 28/11/2019	MIGUEL VALLE		REGISTRO:
				REVISO: 28/11/2019	ING. ESPIN		
				APROBO: 28/11/2019	ING. ESPIN	N.º DE LAMINA HOJA 3 DE 6	
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:	U.T.A. INGENIERIA MECANICA		SUSTITUCION:	

1

2

3

4

A

N8
▽

B

26,650

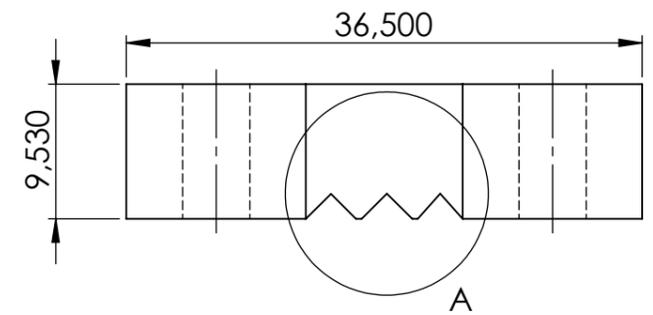
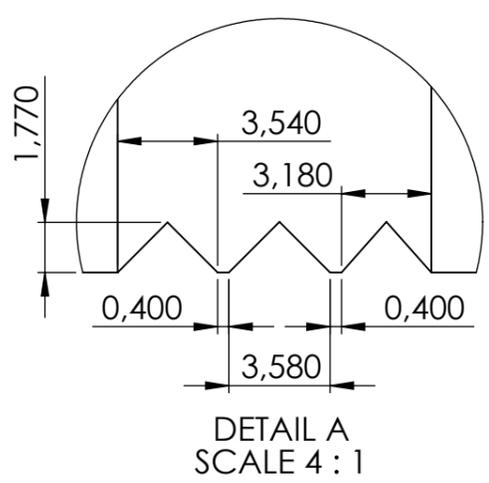
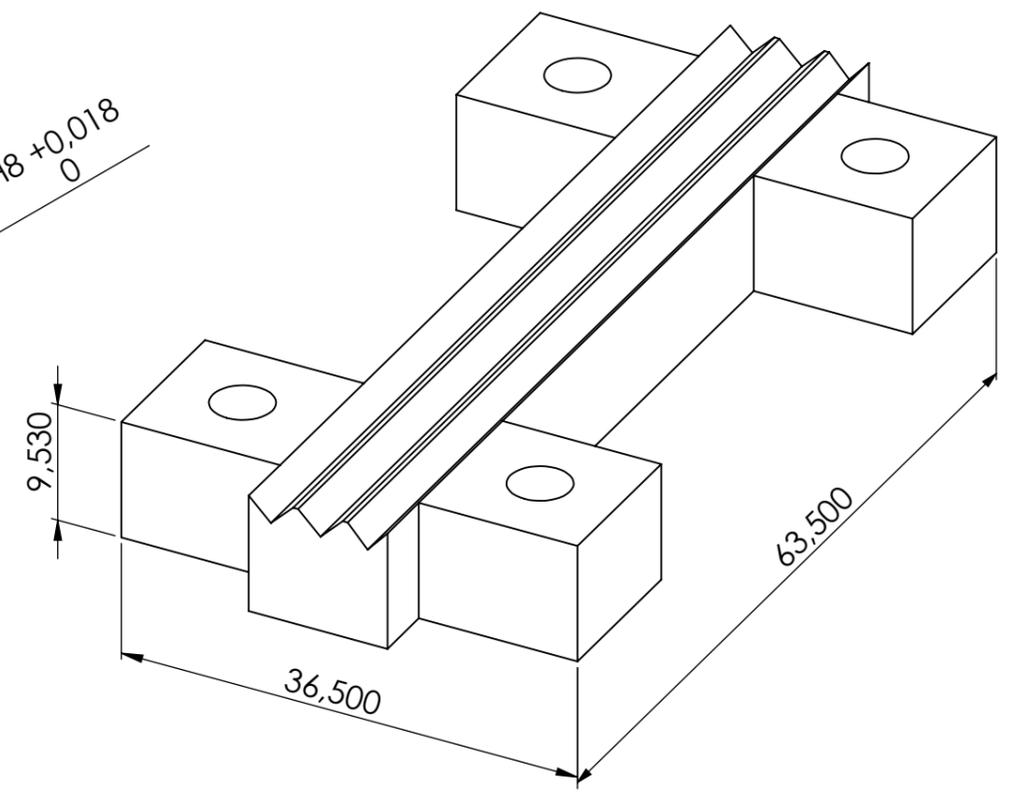
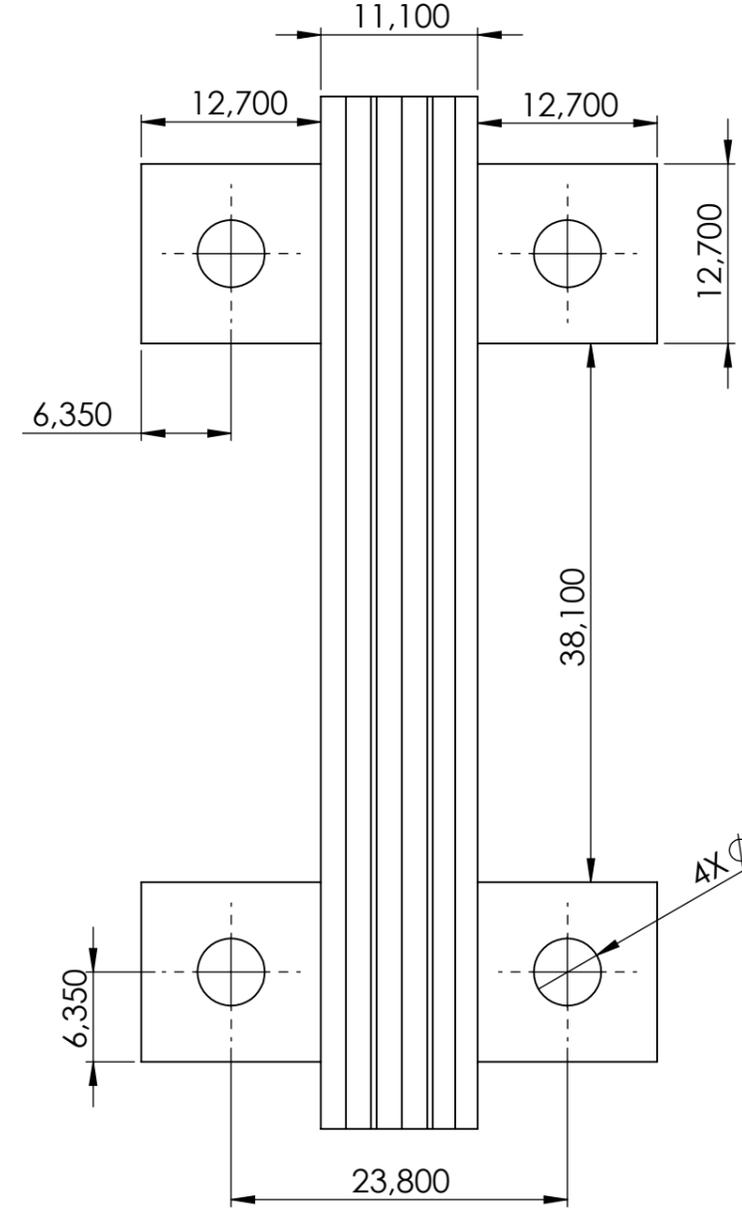
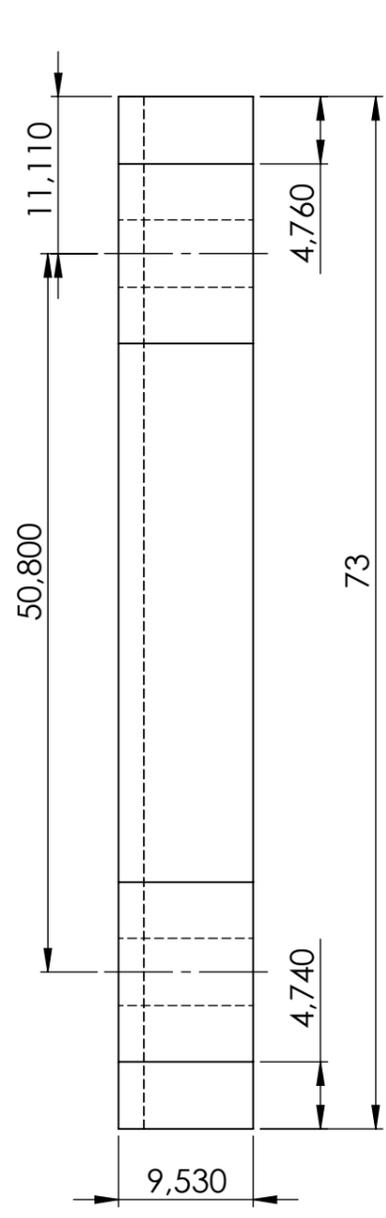
C

D

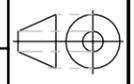
E

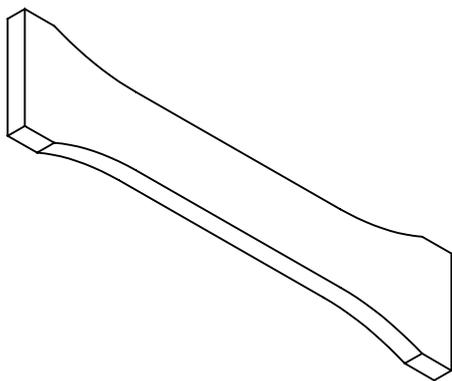
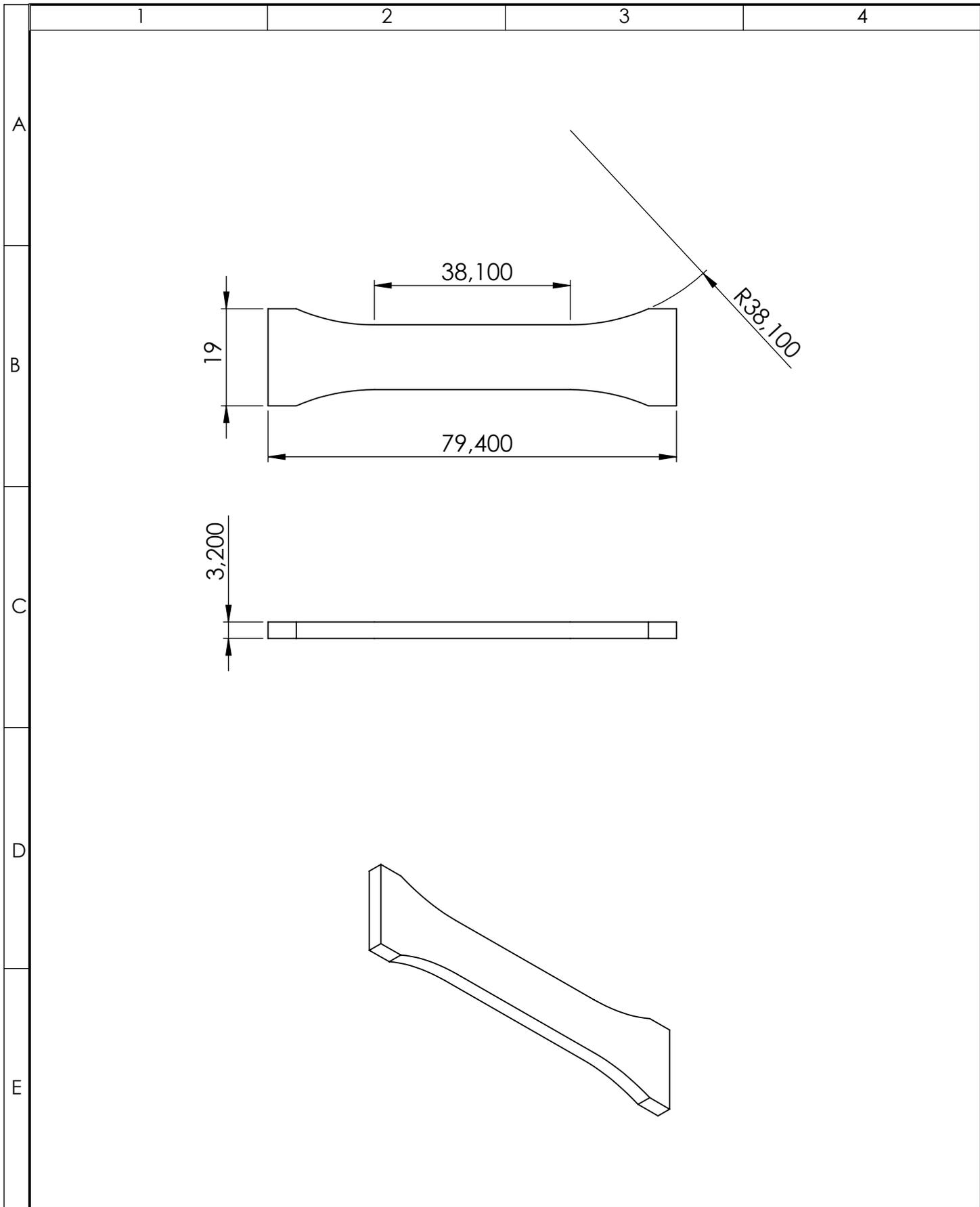
4,760

				TOLERANCIA: ±0,01	PESO: 3,65 gr	MATERIAL: AISI D2	
						TÍTULO: EJE GUIA ALINEACION	ESCALA: 5:1
				DIBUJO: 28/11/2019	MIGUEL VALLE		
				REVISO: 28/11/2019	ING. ESPIN		
				APROBO: 28/11/2019	ING. ESPIN		
				U.T.A.		N.º DE LAMINA HOJA 4 DE 6	REGISTRO:
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:			INGENIERIA MECANICA	



TOLERANCIA:		PESO:		MATERIAL:	
±0,01		96,42 gr		AISI D2	
FECHA:		NOMBRE:		TÍTULO:	
DIBUJO: 28/11/2019		MIGUEL VALLE		PLANTILLA SOPORTE	
REVISO: 28/11/2019		ING. ESPIN			
APROBO: 28/11/2019		ING. ESPIN			
U.T.A.				N.º DE LAMINA	
INGENIERIA MECANICA				HOJA 5 DE 6	
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:	REGISTRO:	





				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:		
				±0,1	4,34 gr	PLA		
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	ESCALA:	
				DIBUJO: 28/11/2019	MIGUEL VALLE		PLANO PROBETA	1:1
				REVISO: 28/11/2019	ING. ESPÍN			REGISTRO:
				APROBO: 28/11/2019	ING. ESPÍN			
				U.T.A. INGENIERIA MECANICA		N.º DE LAMINA	REGISTRO:	
						HOJA 6 DE 6		
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCION:		